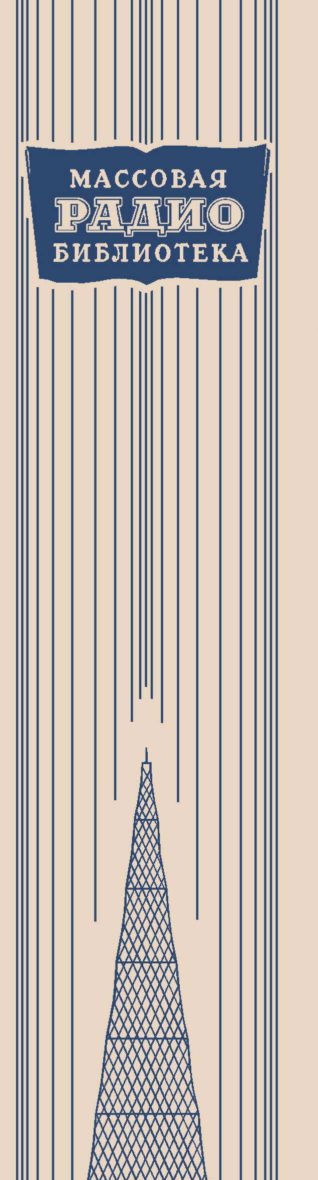


А. Ф. ИОФФЕ

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ





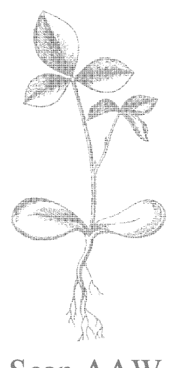
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 353

А. Ф. ИОФФЕ

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются вопросы, связанные с применением магнитной записи в различных областях науки и техники, подчеркиваются моменты, характерные для процесса записи в каждом конкретном случае, приводятся принципиальные схемы. При изложении материала использованы последние достижения отечественной и зарубежной техники.

Книга предназначена для подготовленных радиолюбителей.

Иоффе Анатолий Федорович

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Редактор *В. А. Ваценко* Техн. ред. *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 31/VIII 1959 г. Подписано к печати 5/XI 1959 г.
Т-12155 Объем 5,32 печ. л. Тираж 55 000 экз. Уч.-изд. л. 6
Бумага 84×108¹/₃₂ Цена 2 р. 40 к. Заказ № 447

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В основу магнитной записи электрических сигналов положено свойство ферромагнитного тела намагничиваться при воздействии на него магнитного поля и сохранять остаточное намагничивание при удалении ферромагнитного тела из зоны действия поля.

Принципиально процесс магнитной записи происходит по следующей схеме (рис. 1). Записываемый сигнал подается на вход усилителя записи *1* и после усиления поступает в обмотку записывающей головки *2*. Одновременно в головку подается ток высокой частоты (ток подмагничивания). Носитель записи *3*, которым может быть проволока, лента, диск или барабан, перемещается с постоянной скоростью над зазором записывающей головки. Колебание напряженности магнитного поля над зазором записывающей головки происходит в соответствии с колебаниями сигнала. Переменное магнитное поле, воздействуя на ферромагнитный носитель записи, изменяет магнитное состояние носителя. В результате отдельные участки носителя записи приобретают различные значения остаточного намагничивания соответственно величине записываемого сигнала.

Если теперь носитель записи пропустить над зазором воспроизводящей головки *4*, то будет происходить процесс, обратный описанному выше. Переменный магнитный поток носителя, проходя через сердечник головки, индуктирует в ее обмотке э. д. с., величина которой будет изменяться в соответствии с изменениями величины намагниченности носителя записи. Сигнал с воспроизводящей головки затем поступает в усилитель воспроизведения *5*, на выходе которого получаем копию записываемого сигнала.

Чтобы иметь возможность носитель записи использовать неоднократно, зафиксированные на нем сигналы должны стираться. Для этого перед записывающей голов-

кой по ходу движения носителя записи устанавливается специальная стирающая головка *6*, через обмотку которой протекает ток высокой частоты от генератора *7*. Размагничивание носителя происходит в результате действия быстро спадающего переменного магнитного поля.

Аппараты, в которых процессы записи и воспроизведения электрических колебаний происходят по рассмотренной схеме, получили широкое распространение для записи звука в радиовещании, кино, быту и т. д.

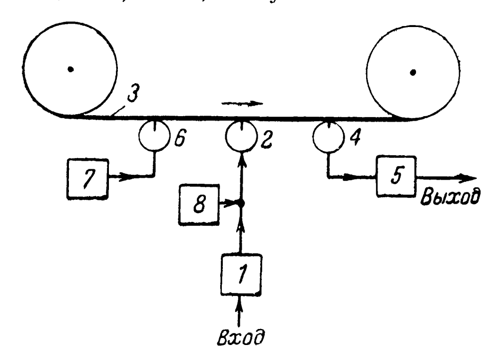


Рис 1. Блок-схема магнитной записи.

1 — усилитель записи; *2* — записывающая магнитная головка; *3* —ферромагнитный носитель записи; *4* — воспроизводящая магнитная головка; *5* — усилитель воспроизведения; *6* —стирающая магнитная головка; *7* — генератор стирающего тока; *8* — генератор тока подмагничивания.

Создание специальных магнитных головок с продолжительным сроком службы, носителей записи с высокими магнитными и механическими характеристиками, лентопротяжных механизмов, обеспечивающих стабильную скорость транспортировки ленты, позволило за последние годы разработать высококачественные магнитофоны для записи звука.

Одновременно с дальнейшим усовершенствованием магнитофонов метод магнитной записи электрических сигналов начинают применять в различных отраслях науки и техники. От использования в областях, близких по своей идее к основному виду применения, например «говорящая книга для слепых», до записи сигналов телевизионного изображения — вот современный диапазон применения магнитной записи.

Приведем некоторые примеры.

В авиации при испытании новых самолетов магнитную запись используют для получения данных на борту самолета или ракеты. Такие характеристики полета, как вибрация, температура, ускорение, давление и т. п., очень важны для проведения всесторонних испытаний.

Дистанционная регистрация различных процессов при помощи магнитной записи получила применение в металлургии, метеорологии и т. д.

В телефонии магнитный метод позволяет производить запись телефонных разговоров, упрощает диспетчерскую работу на железных дорогах и предприятиях, облегчает обслуживание малых АТС.

Большое значение приобретает магнитная запись в системах автоматического управления, в счетно-вычислительной технике и т. п. В этом случае она выполняет роль своеобразной «памяти», например на ленте запоминается программа работы станка-автомата.

При научных исследованиях магнитная запись является большим подспорьем, так как дает возможность многократного повторения зафиксированных процессов, что облегчает их изучение. Особенно это относится к исследованиям в области инфразвуковых и ультразвуковых колебаний.

Очень ценной является возможность применения магнитной записи в лингвистических, музыкальных, вокальных и других учебных заведениях для целей самоконтроля, изучения правильного произношения иностранной речи и т. п.

В последние годы начинает развиваться техника магнитной записи изображения.

Приведенные примеры, конечно, не исчерпывают всех возможностей применения магнитной записи. Однако и из них видно, насколько перспективен магнитный метод записи электрических сигналов.

Ниже рассматриваются отдельные, наиболее интересные случаи применения магнитной записи.

Глава первая

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Отличие магнитной записи кодовых импульсов от записи звука

За последние годы в ряде областей науки и техники возникла необходимость в различного рода накопительных устройствах, способных определенное время сохранять накопленную информацию и по мере надобности воспроизводить ее с определенной точностью. Такого рода накопители находят широкое применение в автоматике и телемеханике, технике связи, вычислительной технике и ряде других областей.

Известен целый ряд способов накопления информации: перфорированные карты и ленты, линии задержки, специальные электронно-лучевые трубки, ферриты, магнитная запись и др.

Магнитная запись нашла широкое применение в большинстве вычислительных машин, счетно-решающих и моделирующих устройств.

Основными преимуществами ее являются:

1) возможность многократного использования носителя записи путем стирания предыдущих записей;

2) большая емкость записи при относительно небольших габаритах записывающего устройства;

3) сравнительно высокая скорость записи и воспроизведения информации;

4) практически неограниченный срок хранения записанной информации без ее нарушения.

В вычислительной технике накопление информации чаще всего происходит в двоичной системе счисления. Двоич-

ный код очень удобен, так как в этом случае для передачи и запоминания кодированной информации элемент «памяти» должен обладать только двумя устойчивыми состояниями. Например, для запоминания 1 необходимо зафиксировать положительный импульс, а для запоминания 0 — отрицательный (отсутствие импульса).

Таким образом, магнитная запись и воспроизведение накапливаемых кодов есть не что иное, как запись и воспроизведение импульсов.

Магнитная запись импульсов, составляющих коды цифровой информации, отличается от записи звука тем, что не ставится жестких условий к идентичности формы входных и выходных сигналов, так как требуемая форма выходному сигналу может быть придана с помощью формирующих устройств. В этих условиях вполне достаточно, чтобы система надежно распознавала два возможных состояния носителя записи: состояние намагниченности и состояние размагниченности. Вместо нескольких параметров, характеризующих систему запись — воспроизведение звука (частотная характеристика, нелинейные искажения, динамический диапазон), для записи кодовых импульсов основным обобщенным параметром является плотность записи *P*, т. е. число кодовых импульсов, которое возможно разместить на единице длины носителя записи.

Совершенно иные требования предъявляются при воспроизведении кодовых импульсов к величине отношения сигнал/шум, а отсюда и к режимам записи. Основными критериями оценки того или иного режима записи являются линейность амплитудной характеристики, оцениваемая обычно коэффициентом нелинейных искажений, и уровень шумов на выходе. При записи импульсов, как указывалось выше, используется всего лишь два уровня намагничивания и поэтому не ставится задача точной передачи формы входного сигнала.

Отсюда отпадает необходимость в спрямлении амплитудной характеристики с помощью переменного поля подмагничивания.

Процесс накопления и выдачи информации происходит по той же схеме, что и при магнитной записи звука: подготовка носителя записи, запись сигналов и воспроизведение сигналов.

Проследим этот процесс, уделяя основное внимание специфическим моментам записи и воспроизведения кодовых импульсов.

Подготовка носителя записи

Подготовку носителя записи или, как ее еще называют, стирание предыдущей записи возможно производить двумя путями: размагничиванием носителя или его намагничиванием. В первом случае производится стирание предыдущих записей переменным током, частота которого выбирается в зависимости от скорости движения носителя, частоты и формы записываемых сигналов, а также от величины рабочего зазора стирающей головки.

При подготовке носителя записи путем его предварительного намагничивания производится насыщение магнитного покрытия носителя воздействием на него интенсивного постоянного магнитного поля. Необходимо отметить, что в этом случае повышается требование к чистоте поверхности носителя записи, так как вследствие того, что носитель доводится до насыщения, напряженность поля, определяемая дефектами поверхности носителя, достигает значительной величины. Это вызывает при воспроизведении появление ложных импульсов (помеха), амплитуда которых может быть сравнима с амплитудой полезных сигналов.

Несмотря на повышенные требования к чистоте поверхности носителя, второй способ более приемлем для накопления информации, так как амплитуда сигнала при воспроизведении получается почти в 2 раза больше, чем при первом способе подготовки носителя.

Процесс записи импульсов

Как уже отмечалось, основным обобщенным параметром, характеризующим систему записи кодовых импульсов, является плотность записи P. Обычно различают продольную и поперечную плотности записи. Под продольной плотностью понимают число кодовых импульсов, записанных вдоль носителя, которое возможно разместить на 1 *мм* его длины. Согласно определению

$$P = \frac{1}{l_ш},$$

где $l_ш$ — расстояние между осями записанных импульсов или шаг записи.

Верхний предел продольной плотности записи импульсов ограничивается взаимовлиянием полей соседних уча-

стков намагничивания носителя, которое начинает сказываться при шаге записи меньше длины намагниченного участка ($l_ш < l$), т. е. при записи с перекрытием. Считают, что степень взаимовлияния соседних импульсов должна быть не более 10%. Допустимая степень взаимовлияния может быть определена из характеристики, представляющей зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты повторения (рис. 2). Установлено (В. И. Пархоменко), что, имея такую зависимость, можно по допустимой для данного конкретного случая величине амплитуды выходного сигнала определить максимальную частоту повторения кодовых импульсов, а отсюда и плотность записи как

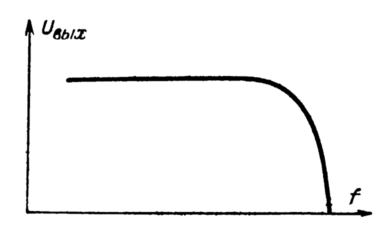


Рис. 2. Зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты повторения импульсов.

$$P = \frac{F}{v},$$

где F — частота повторения;
v — скорость записи.

Взаимовлияние соседних намагничивающих участков на носителе приводит к искажению формы и уменьшению амплитуды считываемого сигнала. Это объясняется тем, что при считывании вследствие предельной ширины рабочего зазора головки записанные импульсы будут усреднены. Уменьшение крутизны характеристики изменения потока во времени вызовет соответствующее уменьшение амплитуды считываемого сигнала. Несмотря на некоторое уменьшение амплитуды считываемых сигналов при записи с перекрытием, такой вид записи все же широко используется с целью повышения ее плотности. Степень перекрытия устанавливается такой, чтобы искажения существенно не повлияли на точность воспроизводимых сигналов.

Необходимо отметить, что взаимовлияние соседних намагниченных участков приводит не только к изменению амплитуды выходного сигнала, но и существенно влияет на его длительность. Поэтому в тех случаях, когда особые требования предъявляются к длительности выходного сигнала, оценка возможного перекрытия, а отсюда и возмож-

ной плотности записи должна производиться с учетом влияния степени перекрытия на длительность выходных сигналов.

Под поперечной плотностью записи понимается число, показывающее количество магнитных дорожек, которые возможно разместить поперек носителя записи. Ограничения в поперечной плотности обусловлены толщиной магнитных головок. Расположением магнитных головок в шахматном порядке возможно повысить поперечную плотность записи. Таким путем поперечная плотность (расстояние между дорожками) может быть доведена до 1—2,5 *мм*

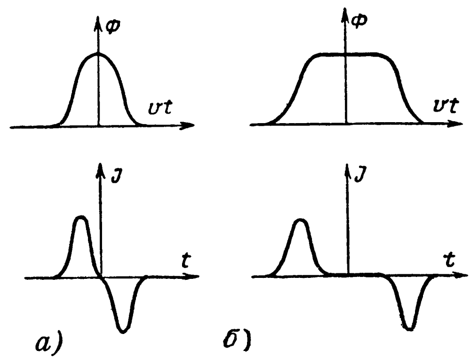


Рис. 3. Распределение намагниченности.
а — носитель неподвижен; *б* — носитель движется.

Дальнейшее увеличение поперечной плотности приводит к возрастанию перекрестных наводок. Кодовые импульсы, поступающие в обмотку головки записи, фиксируются на носителе в виде участков намагниченности. Протяженность этих участков определяет плотность записи P. Наименьшим намагниченным участком является магнитный отпечаток зазора записывающей головки, который представляет собой область, намагниченную полем записывающей головки на неподвижном носителе записи.

Определим, отчего зависит протяженность магнитного отпечатка. Предположим, что при записи сигнала на движущийся носитель поле в рабочем зазоре записывающей головки Φ нарастает и спадает за короткий промежуток времени. Тогда при скорости движения носителя $v=0$ и длительности выходных импульсов, равной τ, распределение намагниченности J будет таким, как показано на рис. 3,*а*.

Если скорость v не равна нулю, то распределение намагниченности представится, как показано на рис. 3,*б*.

Если длину магнитного отпечатка обозначить через l, а общую длину намагниченного участка через L, то можно написать:

$$L = l + v\tau, \qquad (1)$$

где v — скорость движения носителя записи;

τ — длительность выходного импульса, соответствующая L.

Из формулы (1) видно, что при $v\tau \to 0$ длина намагниченного участка L приближается к длине магнитного отпечатка зазора записывающей головки.

При воспроизведении со скоростью v длительность выходного сигнала равна:

$$\tau_{вых} = \frac{l}{v} + \tau.$$

Если $\tau \to 0$, то получим, что длительность выходного сигнала стремится к некоторой величине, определяемой длиной магнитного отпечатка. Отсюда можно сделать вывод, что от геометрических размеров магнитного отпечатка зависит длительность считываемого импульса. Следовательно, запись кодовых импульсов необходимо производить так, чтобы записанный сигнал приближался по протяженности к магнитному отпечатку зазора записывающей головки. К магнитному отпечатку приближается сигнал, нанесенный на двужущийся носитель коротким кодовым импульсом, при котором величина перемещения носителя записи относительно записывающей головки за время прохождения импульса значительно меньше размеров рабочего зазора головки.

Способы записи

Способы записи информации на магнитный носитель можно разделить на две основные группы: запись с промежутками и запись без промежутков.

З а п и с ь с п р о м е ж у т к а м и. При этом способе записи каждая цифра кода (1 или 0) изображается отдельно. Возможны различные варианты записи с промежутками. При записи по двум уровням M и N, между которыми меняется поток Ф в зазоре записывающей головки, два указанных уровня могут соответствовать, например, насыщению носителя записи в положительном или отрица-

тельном направлении. Если носитель предварительно намагничен, то уровень M будет соответствовать направлению предварительного насыщения, а уровень N — насыщению в противоположном направлении при записи. Если же носитель предварительно размагничен, то уровень M будет относиться к отсутствию потока Ф в головке, а N — соответствовать насыщению носителя (рис. 4).

При подготовке носителя записи путем его намагничивания до насыщения остаточная индукция при записи по

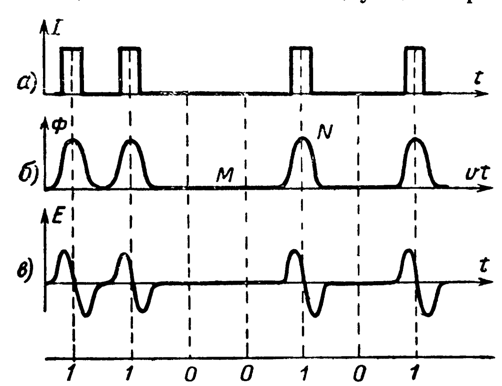


Рис. 4. Запись с промежутками по двум уровням.

двум уровням меняется от $+B_r$ до $-B_r$. В случае же предварительного размагничивания носителя остаточная индукция при записи по двум уровням меняется только от 0 до $+B_r$ или $-B_r$. Поэтому амплитуда сигнала, считываемого с носителя, в первом случае всегда больше, чем во втором.

Необходимо отметить, что амплитуда сигнала при записи с перекрытием зависит от характера чередования кодовых импульсов. Пусть записан сигнал 1100101. Амплитуда второго кодового импульса 1 уменьшается вследствие взаимовлияния двух импульсов 1, в то время как амплитуда пятого кодового импульса 1 остается без изменения, так как он отделен справа и слева нулями и взаимовлияние отсутствует (рис. 4,*в*).

При записи по трем уровням (рис. 5) цифре 1 соответствует насыщение размагниченного носителя в одном направлении, а цифре 0 — в другом (рис. 5,*б*). После дифференцирования э. д. с. воспроизводящей головки E_1 сигнал на выходе дифференцирующей цепочки приобретает форму

(рис. 5,*в*), которую нетрудно преобразовать в форму первоначального сигнала.

Существует еще один вид записи с промежутками, когда цифры 1 и 0 представляются определенной последовательностью чередования положительных и отрицательных импульсов. На рис. 6,*в* показана форма тока I в записывающей головке, которая получается с помощью специаль-

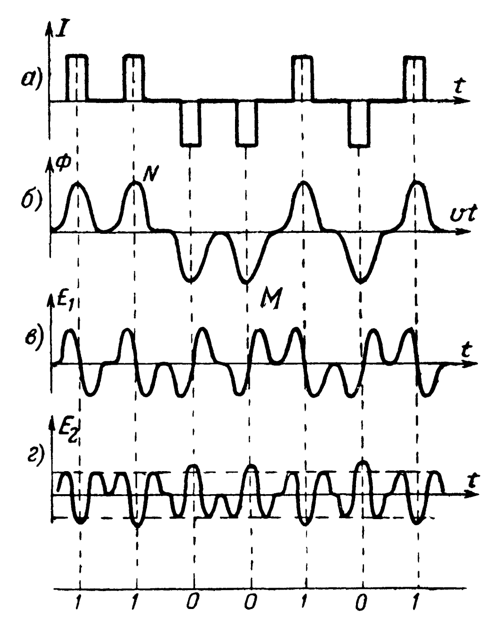


Рис. 5. Запись с промежутками по трем уровням.

ного устройства типа электронного реле при передаче на него записываемого сигнала (рис. 6,*б*) и прямоугольных импульсов (рис. 6,*а*).

В данном случае цифре 1 соответствует чередование положительного и отрицательного импульсов, а цифре 0— обратная последовательность этих импульсов. На рис. 6,*г* приведен график распределения магнитного потока Ф вдоль носителя записи. Электродвижущая сила *E*, наведенная в обмотке воспроизводящей головки (рис. 6,*д*), при изменении остаточной индукции от $+B_r$ до $-B_r$ соответствует цифре 1, а при изменении от $-B_r$ до $+B_r$ — цифре 0. Воспроизведенный сигнал расшифровывается в схеме

совпадений путем сравнения его с синхронизирующими импульсами (рис. 6,*е*), следующими с той же частотой, что и импульсы, изображенные на рис. 6,*а*. В результате получаем требуемую кодовую комбинацию (рис. 6,*ж*).

Достоинством этого способа записи является использование максимального перепада остаточной индукции,

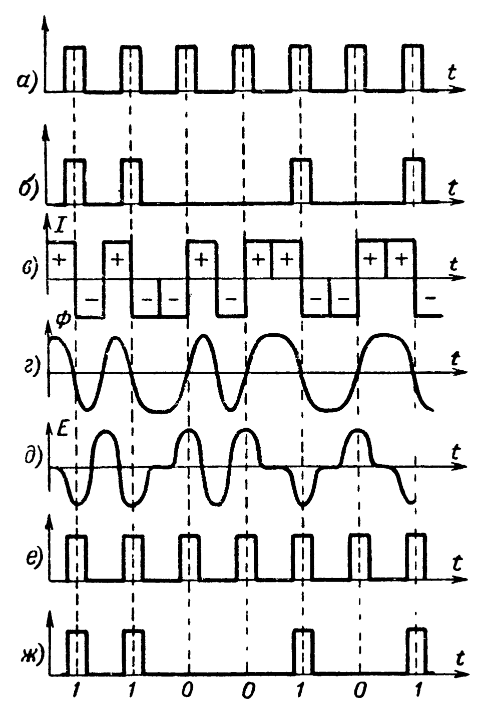


Рис. 6. Запись с промежутками с определенной последовательностью чередования положительных и отрицательных импульсов.

вследствие чего по чувствительности он равноценен способу записи на намагниченном носителе записи, выгодно отличаясь от последнего тем, что амплитуда воспроизводимого сигнала не зависит от чередования цифр и остается практически постоянной.

З а п и с ь б е з п р о м е ж у т к о в. Способ записи без промежутков или, как его еще называют, без возвращения к нулю, заключается в том, что переход от одного магнит-

ного состояния к другому соответствует не одной цифре, а ряду цифр одного и того же знака. Например, переход от $+B_r$ к $-B_r$ соответствует последовательности цифр 0, а обратный переход — последовательности цифр 1. На рис. 7,*а* изображен код 1100101, в котором 1 представляется положительными импульсами, а 0 — отрицательными.

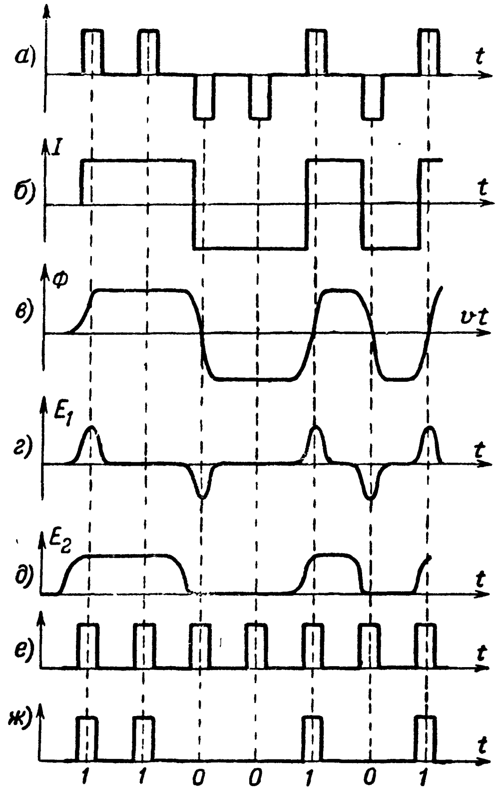


Рис. 7. Запись без промежутков.

Первый положительный импульс перебрасывает спусковую схему, связанную с записывающей головкой так, что через нее протекает ток *I* (рис. 7,*б*), намагничивающий носитель в положительном направлении (рис. 7,*в*). Отрицательный импульс перебрасывает спусковую схему в исходное состояние, вследствие чего полярность тока в головке и направление намагничивания изменяются на обрат-

ные. Электродвижущая сила E_1, наведенная в обмотке воспроизводящей головки, показана на рис. 7,*г*. Положительный импульс изображает начало последовательности цифр 1, отрицательный — цифр 0. Эти импульсы управляют другим спусковым устройством, напряжение на выходе которого E_2 показано на рис. 7,*д*. Далее эти импульсы подаются на схему совпадений одновременно с синхронизирующими импульсами (рис. 7,*е*). Сигнал на выходе схемы совпадений показан на рис. 7,*ж*.

Кодовый единичный импульс на носителе записи, например, в виде магнитного отпечатка зазора записывающей головки представляет в этом способе одновременно две цифры 1 и 0, в то время как в ранее рассмотренных способах только одну какую-либо цифру. Поэтому в этом случае плотность записи получается практически вдвое большей.

Воспроизведение кодовых импульсов

Воспроизведение кодовых импульсов производится магнитными головками, аналогичными по конструкции записывающим головкам. В большинстве случаев для записи и воспроизведения используются одни и те же головки.

Величина амплитуды сигнала при считывании обычно не превышает нескольких милливольт. Она зависит от скорости движения носителя при воспроизведении и от плотности записи.

Действительно, согласно основному закону электромагнитной индукции, э. д. с., наведенная в обмотках воспроизводящей головки, пропорциональна скорости изменения потока во времени:

$$E = -w\frac{d\Phi}{dt}10^8. \qquad (2)$$

Умножим числитель и знаменатель правой части уравнения на dx. Тогда

$$E = -w\frac{d\Phi}{dx}\frac{dx}{dt}\,10^8 = -wv\frac{d\Phi}{dx}10^8,$$

где v — скорость движения носителя.

Так как при записи кодовых импульсов в виде магнитных отпечатков зазора градиент магнитного потока $\left(\frac{d\Phi}{dx}\right)$ является величиной постоянной для данных условий запи-

си, то э. д. с. воспроизводящей головки пропорциональна скорости движения носителя записи.

Процесс воспроизведения вносит дополнительные искажения в форму записанного сигнала, в частности при воспроизведении увеличивается длительность выходных импульсов. Это явление связано с тем, что магнитный поток в воспроизводящей головке обусловлен не только участком носителя записи, находящимся над рабочим зазором головки, но и соседними намагниченными участками, удаленными от него.

При воспроизведении кодовых импульсов их частота следования может меняться изменением скорости движения носителя записи. Это вытекает из того, что частота следования воспроизводимых кодовых импульсов численно равна количеству импульсов, проходящих в 1 *сек*, или

$$F = \frac{1}{l_{\text{ш}}} v = P \cdot v,$$

где P — плотность записи.

С задачей изменения частоты следования воспроизводимых кодовых импульсов встречаются в тех случаях, когда необходимо снизить частоту следования, например, с целью расшифровки записанных кодов с помощью инерционных механических устройств.

Однако, как следует из уравнения (2), с уменьшением частоты следования соответственно меняется и амплитуда считываемых сигналов, причем при определенной скорости эта амплитуда может стать до того малой, что будет затруднено надежное усиление подобных сигналов. В этих случаях обычно прибегают к специальным воспроизводящим головкам (см. стр. 44) или к системе модуляции несущей частоты.

Различные виды накопителей, использующих магнитную запись

Накопительные устройства, использующие магнитную запись, по их назначению можно подразделить на внешние, промежуточные и оперативные.

К внешним накопителям относятся накопители на магнитной ленте, запись на которую производится либо с помощью устройств, считывающих информацию с перфокарт, либо непосредственно. Они применяются обычно в тех случаях, когда требуется накопление большого количества данных, причем выборка их носит упорядоченный харак-

тер. Внешние накопители имеют меньшую скорость выборки данных по сравнению с промежуточными и оперативными накопителями.

К промежуточным и оперативным накопителям, работающим на принципе магнитной записи, относятся магнитные барабаны (в последние годы разработан ленточный барабан, который объединяет в себе свойства оперативного и внешнего накопителей). В большинстве случаев магнитные барабаны применяются для накапливания небольшого количества информации; такой, как промежуточные данные решения задач, результаты вычислений и т. п. Магнитные барабаны имеют небольшое максимальное время доступа и могут работать синхронно с арифметическим устройством вычислительной машины

Магнитный барабан может выполнять и функцию оперативного накопителя. Это значит, что данные из внешнего накопителя через оперативный накопитель поступают непосредственно в арифметическое устройство.

Пример записи кодовых импульсов на магнитном барабане

Рассмотрим устройство магнитной памяти на магнитном барабане (рис. 8). Записывающая головка *3* представляет собой разомкнутый магнитный сердечник. Обмотка головки должна обеспечивать достаточное количество ампер-витков. В то же время отношение индуктивного сопротивления к активному должно быть низким, чтобы токи через головку могли быстро нарастать и спадать. Поэтому желательно, чтобы обмотка записывающей головки состояла из малого числа витков толстой проволоки, пропускающей большие токи. Вдоль образующей магнитного барабана установлено несколько десятков таких головок на определенном расстоянии друг от друга.

Между головками и ферромагнитным покрытием барабана имеется зазор порядка 30—50 *мк*. Применение бесконтактной записи предохраняет головки и покрытие барабана от значительного стирания и разогрева, которые имеют место при записи на больших скоростях. Зазор должен быть по возможности малым и стабильным во времени, так как при его возрастании будет резко падать уровень воспроизводимых сигналов, а также уменьшаться плотность записи. Величина зазора лимитируется механическими характеристиками системы (биением в подшипниках, качеством поверхности барабана, температурными изменениями материалов).

Процесс запоминания и считывания на магнитном барабане импульсов, составляющих коды цифровой информации, принципиально выглядит так. Предположим, что нам необходимо записать на магнитном барабане код числа 35. В двоичной системе счисления он изображается как

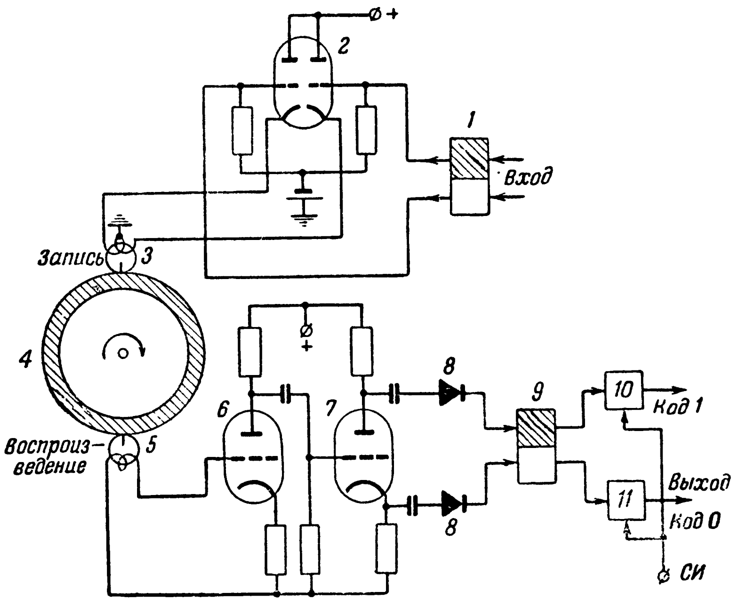


Рис. 8. Схема записи импульсов на магнитном барабане.

1 — триггер; *2* — катодные повторители, *3* — записывающая головка; *4* — магнитный барабан; *5* — считывающая головка; *6* — усилитель, *7* — фазоинвертор; *8* — вентили; *9* — триггер, *10* и *11* — схемы совпадения.

010011, где 1 показывает наличие импульса, а 0 — его отсутствие. Этот код можно записать двумя способами:

1) все разряды записываются или считываются одновременно, каждый по своей дорожке (параллельный способ);

2) код записывается на одной дорожке, разряд за разрядом, после заполнения одной дорожки запись переключается на другую (последовательный способ).

При параллельном способе быстродействие системы значительно выше, однако в этом случае возрастает количество необходимой аппаратуры. Поэтому при выборе того или иного способа надо поступать сообразно с каждым конкретным случаем.

Предположим, что нами выбран последовательный способ записи кода числа 35. Этот код подается на триггерную ячейку *1*. В зависимости от электрического состояния ячейки при подаче на нее импульсов кода катодный повторитель *2* пропускает в соответствующую обмотку головки записи *3* ток. В зависимости от того, в какую из обмоток подается импульс тока, участок магнитного покрытия около зазора записывающей головки намагничивается положительно или отрицательно, т. е. переходит в состояние 0 или 1.

При вращении барабана *4* намагниченные участки проходят мимо зазора считывающей головки *5* и индуктируют в ее обмотке э. д. с., величина которой зависит от размеров зазора между головкой и поверхностью барабана и от параметров головки.

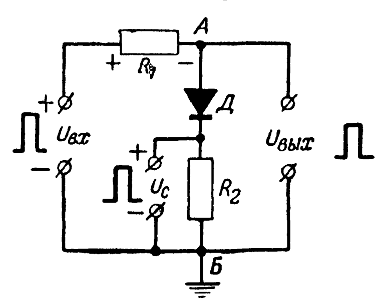


Рис. 9. Схема совпадения.

Считываемый сигнал усиливается лампой *6*, ограничивается по нижнему уровню и подается в фазоинвертор *7*, на выходе которого получаются два напряжения, противоположные по фазе. В зависимости от полярности наводимой э. д. с. триггер *9* переходит в состояние, соответствующее коду 0 или 1, так как на один из его входов подается импульс отрицательной полярности. Импульсы положительной полярности на вход триггера не пропускаются вентилями *8*. С выхода триггера импульсы поступают на схемы совпадения *10* и *11*, на которые также подаются синхронизирующие импульсы *СИ*. На выходе схем совпадения сигнал появляется только при приходе синхронизирующих импульсов.

Простейшая схема совпадения показана на рис. 9. Диод *Д* при отсутствии синхронизирующих импульсов нормально открыт, и через него протекает ток от источника входного напряжения $U_{вх}$. Если сопротивление R_1 велико по сравнению с сопротивлением цепи диода, то практически все падение напряжения будет на сопротивлении R_1. Падение же напряжения на участке *АБ* весьма мало (при $R_1 \gg R_2$), и выходное напряжение при отсутствии синхронизирующего импульса практически равно нулю. При поступлении синхронизирующего напряжения определенной

полярности диод запрется, и на выходе схемы появится напряжение, приблизительно равное $U_{вх}$ (обратным током через закрытый диод можно пренебречь как малой величиной). Сигнал на выходе схемы совпадения представляет собой импульс определенной полярности. Подобная схема может быть осуществлена и для выходных импульсов другой полярности.

Синхронизирующие импульсы записываются на особой дорожке барабана на равном расстоянии друг от друга. Эти импульсы являются временными метками, при которых происходят считывание и запись импульсов. При этих условиях большое значение имеет постоянство длительности записанного импульса. Подсчет синхронизирующих импульсов определяет угловое перемещение барабана. Импульс начала отсчета синхронизирующих импульсов записывается на специальной дорожке. Зная количество синхронизирующих импульсов, прошедших от начала отсчета, можно определить место на барабане, которое в данный момент находится под головкой.

Если необходимо записать новые данные на барабан, то не обязательно стирать старые, так как если записываемый импульс имеет достаточно большую амплитуду, то он перемагнитит носитель записи в том или другом направлении независимо от того, какой сигнал был записан ранее. В этом случае, естественно, необходимо, чтобы новый импульс записывался на том же месте, где был записан старый, что обеспечивается жесткой синхронизацией процесса записи.

Часто в запоминающихся устройствах на магнитном барабане необходимо из серии записанных импульсов уничтожить только один. В этом случае применяют импульсный метод стирания (запись кода 0), который производится импульсами, доводящими магнитное покрытие барабана до исходного состояния насыщения. При стирании импульса другим импульсом только середина намагниченного участка магнитного покрытия барабана будет доводиться стирающим импульсом до насыщения, в то время как магнитное состояние фронтов стираемого участка остается почти без изменений. На магнитном покрытии барабана останется часть нестертой записи в виде двух участков, расстояние между которыми приблизительно равно длине записанных импульсов. Поэтому для полного уничтожения старых записей при импульсном методе стирания стирающие импуль-

сы должны иметь бо́льшую длительность, чем записанные.

При стабилизации скорости магнитного барабана удается достигнуть более высоких результатов, чем при использовании ленточного носителя.

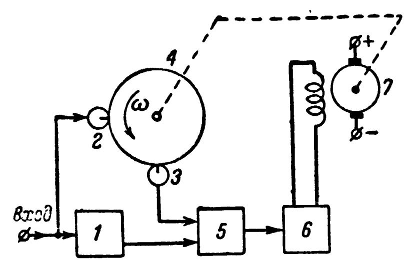


Рис. 10. Блок-схема устройства синхронизации скорости магнитного барабана.

1 — линия задержки; *2* — головка записи; *3* — головка считывания; *4* — барабан; *5* — временно́й дискриминатор; *6* — усилитель; *7* — привод барабана.

Рассмотрим схему синхронизации скорости вращения магнитного барабана при помощи замкнутой следящей системы (рис. 10). В этой системе для синхронизации накопления информации на магнитном барабане используется акустическая линия задержки *1* (задержка линии 2,5 *мсек*). Головки записи *2* и считывания *3* разнесены на 90°, что дает время задержки в системе 2,5 *мсек*. Импульсы одновременно поступают на записывающую головку барабана *4* и на вход акустической линии задержки. Если барабан вращается с заданной скоростью, то импульсы, считываемые с барабана, будут поступать одновременно с импульсами на выходе линии задержки. В случае, если они не будут совпадать во времени, то появляющийся сигнал ошибки выявляется временным дискриминатором *5* и после усиления в усилителе *6* создает поле, управляющее скоростью вращения электродвигателя *7* привода барабана.

С помощью такой системы можно добиться высокой точности вращения магнитного барабана (колебания задержки в 2,5 *мсек* составляют всего ±0,5 *мксек*).

Новые виды головок, применяемых в вычислительной технике

О д н о в и т к о в а я   с ч и т ы в а ю щ а я - з а п и с ы в а ю щ а я   г о л о в к а. К недостаткам применения обычных стандартных головок следует отнести следующие:

1. В магнитных головках обычного типа по крайней мере половина магнитного потока, замыкающаяся через внутреннюю часть головки, не проходит через носитель записи и поэтому тратится непроизводительно.

2. Форма, которую имеют стандартные головки, а также то обстоятельство, что ток записи примерно в 100 раз больше тока при считывании, создают трудности при экранировании головок.

3. Велико значение перекрестной наводки между головками.

Одновитковые головки в значительной мере свободны от этих недостатков. Существуют две конструкции одновитковых головок: головка, имеющая трансформатор

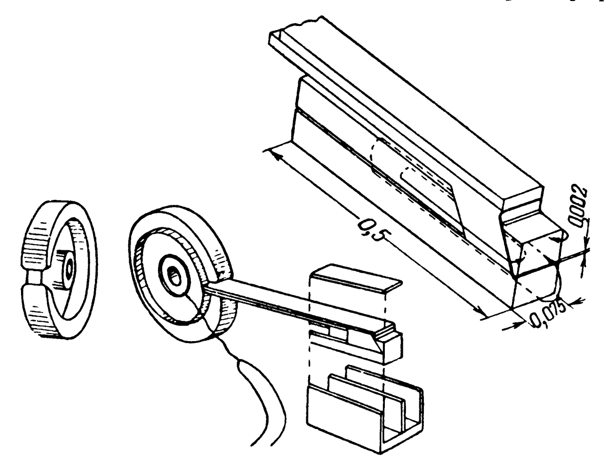


Рис. 11. Одновитковая головка, имеющая трансформатор с горшковым сердечником.

с горшковым сердечником, и головка с интегральным трансформатором.

На рис. 11 показана одна из конструкций одновитковой головки, имеющей трансформатор с горшковым сердечником. Магнитная система головки состоит из двух ферритовых прямоугольных блоков. Между ними проложена лента серебряной фольги, являющаяся единственным витком обмотки. Этот виток питается от понижающего трансформатора. Для трансформатора головки выбран ферритовый сердечник горшкового типа, так как он самоэкранируется и индуктивность рассеяния в нем очень мала. К тому же такое устройство обеспечивает меньшие размеры головки.

Размеры зазора определяются толщиной прокладки между ферритовыми брусками. Лицевая (обращенная к магнитному барабану) поверхность головки шлифуется так, что торцовые поверхности брусков магнитопровода и

фольги совпадают. Поэтому весь магнитный поток замыкается через внешнюю часть головки, обращенную к барабану, и почти полностью пересекает поверхность барабана.

Ввиду того, что индуктивность витка из фольги невысока, провода, соединяющие виток головки с трансформатором, делаются плоскими и широкими с целью уменьшения их индуктивности.

Уменьшение потоков рассеяния достигается помещением головок в латунные экраны, служащие одновременно для крепления головок. Экранирование трансформаторов обеспечивается сердечниками закрытого типа.

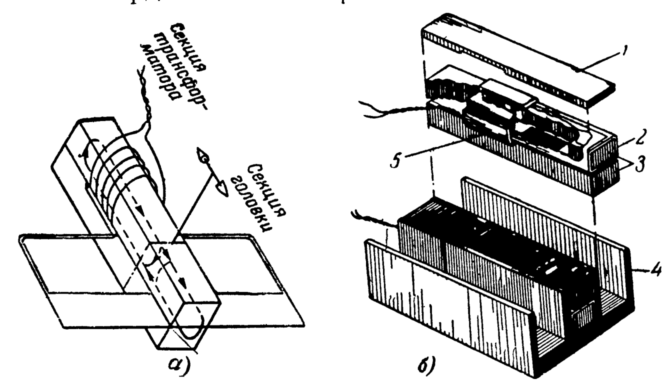


Рис. 12. Головка с интегральным трансформатором.

а — схема головки с интегральным трансформатором; *б* — конструкция головки с интегральным трансформатором: *1* — латунная пластинка кожуха; *2* — соединительный зажим, являющийся прокладкой в рабочем зазоре; *3* — ферритовые сердечники; *4* — латунный каркас—экран от вихревых токов; *5*—первичная обмотка.

Напряжение перекрестной наводки в подобных головках может быть меньше 0,1% от нормального напряжения считывания.

На рис. 12,*а* показана головка с интегральным трансформатором, который фактически является частью головки. Вторичная обмотка выполняется в виде одного витка, составленного из пластинки, расположенной в рабочем зазоре, и привода, соединяющего концы этой пластинки с первичной обмоткой трансформатора.

Практически такая головка дает плохие результаты, так как из-за удлиненной формы магнитопровода, одностороннего расположения первичной обмотки и формы витка вторичной обмотки индуктивность рассеивания будет значительной.

Значительно лучшие результаты дает головка, показанная на рис. 12,*б*. Соединительный зажим этой головки представляет собой прямоугольную коробку из серебра или меди. Перекрывающиеся части зажима изолируются для предупреждения электрических контактов между ними. Первичная обмотка наматывается на один конец зажима, который выполняет ту же функцию прокладки и проводника, но из-за его формы и положения он более плотно соединен с первичной обмоткой. Для уменьшения сопротивления и индуктивности зажима металлическая пластинка, из которой он изготовляется, должна быть, по возможности, шире. Головка с интегральным трансформатором требует меньший записывающий ток (примерно 0,7), чем высококачественная стандартная головка, и при этом дает большой считывающий сигнал (почти на 60% больше).

Магнитная головка для записи на барабан, «плавающая в воздухе». При записи кодов на магнитный барабан существенное значение приобретает емкость барабана. Увеличение его емкости при данном диаметре сопряжено с увеличением количества оборудования и усложнением схемы управления. Увеличение же емкости барабана за счет увеличения его диаметра ограничивается технологическими возможностями получения достаточно постоянного малого зазора между головками и поверхностью барабана. С целью стабилизации величины зазора при работе барабанов больших диаметров, а также барабанов, имеющих менее жесткие допуски на биение, разработаны магнитные головки, «плавающие в воздухе».

Такие головки удерживаются на определенном расстоянии от барабана при помощи воздушной подушки, образованной быстрым вращением барабана, и эффекта Бернулли, получающегося в результате подачи воздуха в отверстие в головке под высоким давлением.

Воздушная подушка между барабаном и головкой предотвращает падение головки на барабан, а силы, возникающие вследствие эффекта Бернулли, присасывая головку к поверхности барабана, не дают ей отойти от него. Таким образом, происходит слежение за поверхностью барабана, и головка, находясь как бы на воздушной подушке, «плавает» в воздухе.

Использование подобных головок дает возможность применять сварные магнитные барабаны большого диаметра, свернутые из листового материала с нанесенным на его поверхность магнитным материалом.

Глава вторая

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В последнее время магнитная запись получила широкое распространение в системах автоматического управления производственными процессами, в частности для управления станками. С помощью магнитной записи в этом случае записывается программа, которую необходимо выполнить на автоматически работающем оборудовании. Преимущество использования магнитной записи состоит в том, что сокращается время изготовления деталей, снижается трудоемкость процесса обработки и упрощается модификация процесса благодаря возможности монтажа новой программы путем склеивания отрезков носителя или записи сигналов во время работы станка при ручном управлении высококвалифицированным рабочим.

Магнитная запись может быть использована как для записи кодированных, так и некодированных программ в зависимости от вида применяемой системы автоматического управления.

Некодированные программы в большинстве случаев содержат информацию: «включено — выключено». В простейшем случае запись такой программы производится на ферромагнитном носителе в виде магнитных «штрихов». Для этого при записи через обмотку записывающей головки пропускается переменный ток. В зазоре возникает переменное магнитное поле, вследствие чего на равномерно движущемся носителе образуются узкие намагниченные области—«штрихи». Все «штрихи» данной программы параллельны друг другу и либо параллельны, либо перпендикулярны направлению движения носителя. При использовании одного канала магнитной записи каждая команда записывается токами различной частоты.

Для осуществления действия «включено — выключено» достаточно записать на носителе один управляющий «штрих»; для осуществления подачи с помощью импульсного двигателя необходимо записать серию сигналов и соответствующий ряд «штрихов». Число их определяет величину требуемого перемещения, а частота—его скорость.

При управлении станком запись производится на несколько магнитных дорожек. Например, одна из дорожек служит для записи программы перемещений продольного

суппорта, другая—поперечного, третья—вспомогательных команд. Соотношение скоростей продольного и поперечного суппортов получается за счет изменения интервалов между магнитными «штрихами» соответствующих дорожек.

При воспроизведении программы носитель записи с той же скоростью протягивается мимо зазора считывающей головки. При этом вследствие перемещения магнитных

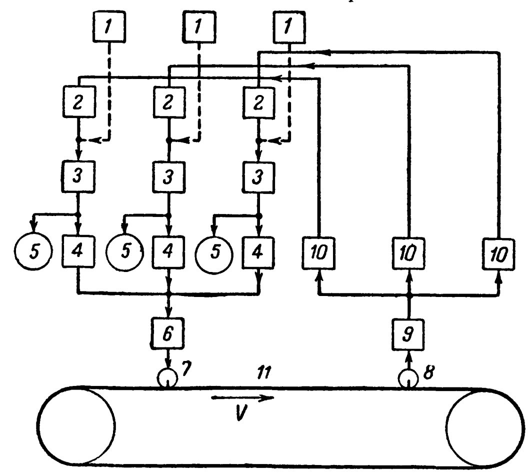


Рис. 13. Управление тремя электродвигателями с помощью магнитной ленты.

1 — кнопки управления; *2* — реле; *3* — магнитные пускатели; *4* — генераторы; *5* — электродвигатели; *6* — усилитель записи; *7* — головка записи; *8* — головка считывания; *9* — усилитель считывания; *10* — полосовые фильтры; *11* — носитель записи.

«штрихов» в сердечнике головки возникает переменный магнитный поток, наводящий переменную э. д. с. в обмотках катушки. После усиления сигнал с носителя записи используется для управления электродвигателями станка.

Поясним принцип программного управления станком с помощью простой схемы при некодированной программе. Предположим, что нам нужно управлять работой трех электродвигателей с помощью бесконечной петли магнитной ленты (рис. 13). Включение электродвигателей осуществляется с пульта кнопочного управления *1*. Кроме того, магнитные пускатели *3* электродвигателей *5* соединены с реле *2*. Аналогичный механизм обеспечивает равномерное передвижение петли *11*.

При нажатии определенной кнопки через магнитный пускатель включается электродвигатель. Одновременно включается соответствующий генератор *4*. Количество таких генераторов должно быть равно количеству электродвигателей, причем каждый из них настроен на определенную частоту. Если в течение одного оборота петли в определенном порядке включаются все электродвигатели, то на ленте остается запись (от головки *7* через усилитель *6*) нескольких частот. При воспроизведении ток от воспроизводящей головки *8* через усилитель *9* подается на полосовые фильтры *10*, каждый из которых настроен на частоту своего генератора и пропускает ток через реле *2* только в том случае, если он соответствует его частоте. Реле *2*, сработав под действием тока, включает магнитный пускатель, а следовательно, и электродвигатель.

Таким образом, в течение каждого оборота петли электродвигатели будут работать только в той последовательности и то время, как это было при записи.

В системе, разработанной фирмой Гишольт (ФРГ), запись ведется магнитными «штрихами», расположенными на равном расстоянии один от другого. Пока «штрихи» параллельны, сигнал на выходе канала воспроизведения отсутствует. При записи магнитного «штриха» с наклоном к направлению движения ленты наклон одного «штриха» вызывает появление импульса. Для получения серии импульсов следует иметь необходимое число наклонных «штрихов». В рассматриваемой системе частота импульсов (а следовательно, и скорость перемещения каретки) определяется углом наклона магнитного «штриха».

Магнитная запись находит широкое применение для фиксации кодированных программ автоматического управления станками. Кодированные программы применяются в основном в системах автоматического регулирования с применением вычислительных устройств.

Запись кодированной программы можно производить следующими путями: запись по двум уровням, запись по трем уровням, запись по двум уровням без промежутков и запись при выполнении первой детали. Первые три способа были разобраны в гл. 1 (стр. 6).

Значительным преимуществом записи по первой детали является возможность ее выполнения в определенном масштабе. Это позволяет вести запись для обработки крупной детали при изготовлении образца значительно меньших размеров. В тех случаях, когда процесс обработки проте-

кает с большой быстротой и правильная запись его затруднительна, можно вести запись при пониженной скорости работы, а затем воспроизвести записанный цикл обработки с нормальной скоростью.

Одним из видов записи кодированной программы работы станка является запись по выполненной образцовой детали, контур которой обводится с помощью щупа. При воспроизведении образцовая деталь заменяется заготовкой, а щуп—режущим инструментом. Этот способ требует большого времени на запись программы, что снижает эффект применения программного управления.

Запись может производиться и по графическому контуру с использованием простого обводного штифта или других более сложных автоматических устройств. К недостатку этого метода, помимо затрат большого времени на запись программы, следует отнести невысокую точность даже при значительном увеличении контура.

Более высокие результаты дает метод соответствующего преобразования числовой информации, полученной на основании чертежа детали. При записи программы этим способом интервалы между магнитными «штрихами» изменяются непрерывно в соответствии с заданной формой профиля детали, чем обеспечивается высокая точность.

В качестве примера системы цифрового управления с применением магнитной записи можно привести отечественную систему управления вертикально-фрезерным станком типа 6Н13-ПР с импульсным приводом подач. Структурная схема управления станком представлена на рис. 14. Программа на обработку детали записывается на магнитной ленте в виде последовательности импульсов: каждый импульс соответствует перемещению стола. или пиноли на один шаг. Магнитная лента движется с постоянной скоростью, и поэтому расстояние между отдельными импульсами на ленте определяет скорость вращения шагового двигателя. Для каждой управляемой координаты на магнитной ленте предусматриваются две дорожки: для записи команды на положительное и отрицательное направление движения. Для записи применяется шестиканальная магнитная головка, предназначенная для фиксации сигналов управления движением по координатам *X, Y, Z*.

В качестве носителя записи используется магнитная лента типа 2 толщиной 60 *мк* и шириной 19,2 *мм*. Запись сигналов производится импульсами длительностью 50 *мксек*. Сигналы, считываемые с ленты, усиливаются, а за-

тем поступают в узел распределения, управляющий реверсивным шаговым двигателем. Усилитель выполнен на транзисторах типа П6. Общий коэффициент усиления всех каскадов составляет 5 000—7 000. После третьего каскада усиления сигнал поступает на эмиттерный повторитель и затем на вход потенциального триггера, с выхода которого снимается положительный прямоугольный сигнал.

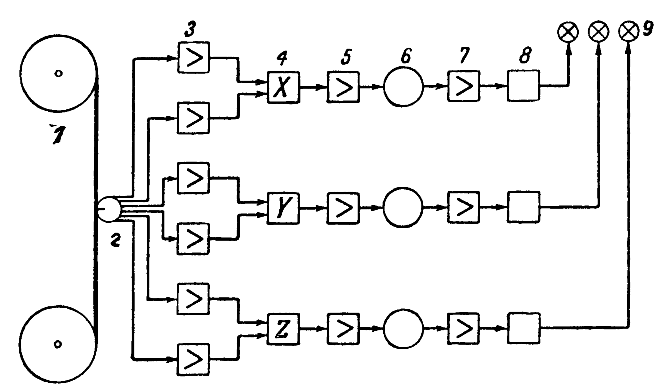


Рис. 14. Структурная схема системы управления.

1 — магнитная лента, 2 — считывающая головка; 3 — усилитель считывания; 4 — узел распределения импульсов; 5 — силовой усилитель; 6 — двигатель; 7 — гидравлический усилитель; 8 — узел контроля отработки; 9 — сигнал неисправности.

Лентопротяжный механизм выполнен на одном двигателе с вертикальным расположением кассет. Каждая кассета вмещает 500 *м* ленты, что обеспечивает 1,5 *ч* работы станка при скорости ленты 100 *мм/сек*. Трехфазный асинхронный двигатель на 1 500 *об/мин* связан с кассетами посредством индукционных муфт; с ведущим валиком он связан жестко через понижающий редуктор.

Глава третья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ОСЦИЛЛОГРАФИИ

Общие замечания

В связи с бурным развитием науки и техники в настоящее время возникла необходимость в усовершенствовании существующих регистрирующих устройств и создании та-

ких регистраторов, которые обеспечивают фиксацию процессов, протекающих в широком диапазоне частот. Особенно это относится к записи медленно протекающих процессов, так как с подобными процессами исследователям приходится сталкиваться все чаще и чаще. Приведем некоторые примеры.

Периодические колебания земной коры относятся к области инфразвуковых колебаний с амплитудой в несколько микрон и частотой от 0,17 до 0,35 *гц*. Наиболее мощным источником инфразвуковых колебаний является землетрясение. Запись и анализ колебаний земной коры представляют не только научный, но и громадный практический интерес, так как дают возможность разрабатывать методы прогноза землетрясений.

Большое значение имеет исследование вибрации в строительной технике, автомобилестроении, самолетостроении и т. д. Например, непосредственная запись вибрации в движущемся автомобиле с последующим тщательным лабораторным анализом результатов дает возможность определить источники вибрации и найти пути ее подавления.

При автоматическом регулировании процессов решающим фактором является устойчивость системы. Запись переходного процесса в системе позволяет определять ее поведение в динамическом режиме, а также выявить звенья системы, неблагоприятно влияющие на ее устойчивость.

Магнитная запись позволяет производить электрический анализ записанных колебаний. В этом случае анализируемый сигнал после воспроизведения пропускается через полосовые фильтры, на выходе которых получаются его гармонические составляющие.

В последнее время электроника приобретает все большее значение в медицине. Записанная электрокардиограмма сердца дает возможность определить характер сердечно-сосудистой деятельности пациента, стадию заболевания и назначить необходимое лечение.

Человеческий мозг является слабым генератором инфразвуковых колебаний с частотой от 8 до 13 *гц* с наложенными на них более частыми колебаниями (до 25 *гц*). При различных заболеваниях частота и амплитуда колебаний меняются. Запись этих колебаний позволяет медикам и биологам изучать деятельность коры головного мозга, анализировать процессы, протекающие в нем при операции, проводить диагностику заболеваний мозга.

Можно было бы привести еще ряд областей, в которых

встречаются процессы инфразвуковой частоты, но и из приведенных примеров ясно, как важно для исследователей регистрировать такие процессы.

В настоящее время запись инфразвуковых процессов производится либо электромагнитными самописцами, либо шлейфными осциллографами.

Современные электромагнитные самописцы могут обеспечить достаточно хорошую запись процессов, протекающих в диапазоне до 130—150 *гц*. С увеличением записываемой частоты выше этого предела механические (трение, инерция) и радиальные (особенно при большом размахе пера) искажения резко возрастают. Этот недостаток электромагнитных самописцев не позволяет их использовать в широком диапазоне частот.

Шлейфные осциллографы обеспечивают регистрацию широкого диапазона частот, но время, необходимое для получения наглядных результатов, велико, так как добавляется процесс фотообработки носителя. К тому же для точной регистрации быстропротекающих процессов необходима ускоренная развертка их во времени, что достигается значительным повышением скорости движения фотобумаги или фотопленки (до 5 *м/сек*), а это приводит к повышенному расходу дорогостоящего носителя записи.

На практике часто приходится сталкиваться с процессами, носящими случайный, неожиданный характер (например, землетрясение). Если для записи таких процессов использовать непосредственную регистрацию пером или фотоспособом, то аппарат записи должен быть все время включен в ожидании возникновения интересующего процесса. В том случае, когда время между моментом включения аппарата записи и моментом возникновения случайного процесса велико, большое количество носителя записи будет тратиться непроизводительно, что значительно удорожает запись. Можно сделать так, что сам случайный процесс будет включать аппарат записи, но в этом случае будет отсутствовать запись начальных условий, которая иногда очень важна для оценки результатов.

Все эти препятствия могут быть в значительной мере преодолены, если использовать для регистрации процессов магнитную запись. При этом способе записи ненужные или неудачные участки записи могут быть стерты, а удачные и интересные записи могут храниться неограниченный срок на магнитной ленте или могут быть перезаписаны на фотопленку или бумагу.

При использовании магнитной записи для регистрации процессов, носящих случайный характер, отпадает необходимость в постоянно включенном регистрирующем устройстве. Для этого блок магнитной записи создает задержку во времени всех колебаний, поступающих на головку записи (рис. 15). Эти колебания непрерывно записываются, а затем через время τ воспроизводятся и стираются. Время задержки зависит от расстояния между головками записи и воспроизведения и от скорости v транспортировки ленты. До поступления интересующего процесса блок перезаписи отключен. При его появлении одновременно с записью на ленту автоматически запускается блок перезаписи. Некоторое время (приблизительно равное τ) на носителе перезаписи будут записаны начальные условия, предшествующие случайному процессу, а затем будет зафиксирован сам случайный процесс. Таким образом, отпадает необходимость в непроизводительной трате носителя перезаписи в ожидании появления случайного процесса.

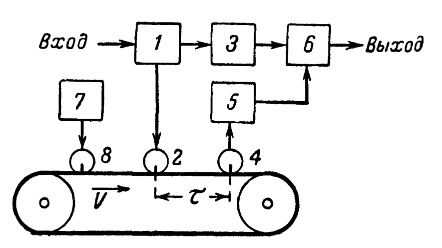


Рис. 15. Запись случайных процессов.

1 — блок записи; *2* — головка записи; *3* — пускающее устройство блока перезаписи; *4* — головка воспроизведения; *5* — блок воспроизведения; *6* — блок перезаписи; *7* — генератор высокой частоты; *8* — головка стирания.

При использовании магнитной записи для регистрации процессов с последующей перезаписью на бумажную ленту с помощью электромагнитных самописцев значительно расширяется полоса пропускания частот блока перезаписи. При этом соотношение скоростей записи и воспроизведения процесса определяется необходимостью растянуть процесс настолько, чтобы получить возможность регистрации более широкого спектра частот при перезаписи.

Как уже отмечалось, вибраторы магнитных самописцев имеют равномерную частотную характеристику до 130—150 *гц*. Чтобы с их помощью получить на бумажной ленте неискаженную видимую запись спектра частот, например, от 0,3 до 3 *кгц*, необходимо осуществить трансформацию спектра в 20 раз. Этого можно добиться, если воспроизводить процесс, зафиксированный на магнитной ленте со скоростью, в 20 раз меньшей, чем скорость записи. При такой замедленной скорости потребуется соответствующее возра-

стание времени воспроизведения. Большая длительность времени, необходимого для перезаписи процесса на бумажную ленту, требует точного определения (например, на экране осциллографа) начала и конца участка процесса, предназначенного для перезаписи. Оператор при перезаписи должен иметь возможность для сокращения времени транспортировать ленту на большой скорости до начала участка, предназначенного для перезаписи. Затем лентопротяженный механизм переводится с большой скорости на малую и производится перезапись.

Магнитная запись инфразвуковых колебаний позволяет подавать непосредственно воспроизводимые сигналы на вход специальных электронных вычислительных аппаратов для математической обработки результатов исследований, определения спектрального состава (например, при изучении вибраций) и т. п.

Трудность применения магнитной ленты для регистрации процессов инфразвуковой частоты заключается в том, что с уменьшением частоты записываемых сигналов уровень воспроизведения падает и величина воспроизводимого сигнала становится сравнимой с шумами усилителя, причем отношение сигнал/шум едва достигает величины 20 *дб*. Кроме того, при записи на магнитную ленту известную сложность представляет коррекция частотной характеристики усилителя воспроизведения вследствие значительного подъема низких частот.

Эти препятствия в настоящее время преодолеваются тремя путями: методом трансформации записанного спектра частот; методом модуляции и использованием специальных головок, реагирующих не на величину изменения потока во времени, а на величину самого потока.

Метод трансформации записанного спектра частот

Запись инфразвуковых колебаний методом трансформации спектра частот производится путем уменьшения или увеличения скорости транспортировки носителя записи при воспроизведении относительно скорости записи. Так, например, при регистрации на магнитную ленту процессов колебаний земной коры запись производится с малой скоростью движения носителя, а воспроизведение со скоростью в n раз большей, вследствие чего происходит трансформация спектра частот.

Действительно, если запись производить на некоторой постоянной скорости v, причем записи подлежит спектр частот от F_1 до F_2, а воспроизведение вести на повышенной скорости $v'=nv$, то получим трансформацию спектра частот. При этом справедливо следующее равенство:

$$F'_1 \div F'_2 = n(F_1 \div F_2).$$

Применение метода трансформации позволяет при воспроизведении повысить уровень выходного сигнала приблизительно в n раз. Это приводит к увеличению динамического диапазона в области инфразвуковых частот.

К недостаткам метода следует отнести: необходимость усложнения лентопротяжного механизма, что не всегда является целесообразным, а также невозможность воспроизведения постоянной составляющей.

Метод модуляции

Наиболее распространенным методом, дающим возможность производить качественную и количественную оценку результатов, является метод модуляции дополнительной несущей частоты инфразвуковыми частотами. Частотная характеристика всей системы запись—воспроизведение при использовании метода модуляции определяется в основном характеристиками модулятора и детектора. Известны различные виды модуляции: амплитудная, частотная, балансная, импульсная. Из-за специфических особенностей магнитной записи не все виды модуляции дают равноценные результаты. Применимость каждого вида модуляции для записи инфразвука оценивается с точки зрения необходимого динамического диапазона записи, точности системы и простоты устройства.

Наиболее распространенными видами модуляции для записи инфразвуковых колебаний являются амплитудная и частотная.

Применение амплитудной модуляции. При амплитудной модуляции амплитуда сигнала несущей частоты изменяется в соответствии с изменениями записываемого низкочастотного сигнала. Частотный спектр записываемых колебаний лежит в диапазоне от f_0-F до f_0+F, где f_0—несущая частота, а F—максимальная частота модулирующего сигнала.

При использовании амплитудной модуляции частотный диапазон, требуемый от аппарата записи, составляет всего

$2F$ и значительно уже, чем при использовании других видов модуляции. Это преимущество дает возможность упростить аппаратуру записи.

Несмотря на отмеченное преимущество амплитудной модуляции, ее использование при магнитной записи инфразвуковых колебаний нежелательно, особенно при повышенных требованиях к точности процесса записи и воспроизведения. Это объясняется тем, что в этом случае уровень воспроизводимых сигналов меняется вследствие неравномерной чувствительности носителя по его длине. Практически эта неоднородность такова, что уровень воспроизводимых сигналов, записанных с постоянным по амплитуде током, изменяется на 1,5 *дб* и более. Отсюда точность, с которой может быть воспроизведен записанный сигнал, невысока.

При анализе записей, сделанных магнитным методом, в большинстве случаев решающее значение представляет количественная оценка полученных результатов. В этих условиях точность, полученная при использовании амплитудной модуляции, оказывается недостаточной.

Большим недостатком применения амплитудной модуляции для регистрации процессов с помощью магнитной записи является паразитная амплитудная модуляция, вызываемая неоднородностью покрытия носителя. Последняя объясняется тем, что концентрация зерен по длине носителя непостоянна. Магнитная неоднородность сравнительно мало сказывается в ненамагниченном носителе, т. е. прошедшем через поле стирающей головки, и довольно сильно проявляется в намагниченном носителе. Шумы, порождаемые размагниченной лентой в паузах при записи и стирании с дополнительным ультразвуковым током, весьма малы. Отношение уровня полезного сигнала к шуму в этом случае достигает 60 *дб*.

В случае записи модулированного сигнала лента оказывается намагниченной и во время пауз между модулирующими сигналами, вследствие чего при воспроизведении появляются шумы значительной интенсивности. Величина их зависит от степени намагничивания ленты, а частотный спектр имеет широкий диапазон, причем с ростом амплитуды записываемого сигнала уровень шумов с ленты возрастает.

Для получения более широкого динамического диапазона применяют балансную амплитудную модуляцию, при которой в полученном спектре частот отсутствует несущая

Это значит, что при отсутствии сигнала лента не намагничивается в паузах и поэтому отсутствует паразитная амплитудная модуляция несущей, что позволяет значительно расширить динамический диапазон записи.

Так как при балансной модуляции записываются только боковые частоты, а уровень боковой полосы пропорционален записываемому сигналу, то погрешность, вносимая неравномерностью чувствительности носителя, будет постоянной для всех сигналов. Таким образом, балансная модуляция хотя и разрешает вопрос о расширении динамического диапазона, но точность записи остается невысокой. Сложность аппаратуры и необходимость введения отдельного канала записи несущей частоты ограничивают возможность применения балансной модуляции.

Применение частотной модуляции. Метод частотной модуляции заключается в том, что частота модулируемого колебания изменяется пропорционально амплитуде модулирующего сигнала. При частотной модуляции спектр частот значительно шире, чем при амплитудной, особенно при больших индексах модуляции. Для неискаженного воспроизведения сигналов, передаваемых с помощью частотной модуляции, тракт магнитной записи должен равномерно пропускать весь спектр частот. Это значит, что при записи частотно-модулированных колебаний аппарат магнитной записи должен иметь более широкую полосу пропускания частот, чем в случае записи амплитудно-модулированных колебаний. Отсюда возникает необходимость повышения скорости транспортировки носителя записи, причем выбор номинала скорости определяется в основном требованиями записи верхней границы полосы частот.

Ввиду того, что амплитуда сигнала при частотной модуляции остается постоянной, все погрешности записи, вызываемые паразитной амплитудной модуляцией, неоднородностью магнитных свойств носителя записи и модуляционными шумами, могут быть в значительной мере уменьшены путем ограничения воспроизводимого сигнала определенным уровнем. С помощью ограничителя срезаются все колебания амплитуды воспроизводимого сигнала, вызванные помехами. Поэтому точность воспроизведения в случае применения частотной модуляции значительно выше, чем при амплитудной модуляции.

Однако и при частотной модуляции в воспроизводимый сигнал вносится погрешность. Ее источником являются периодические изменения скорости движения носителя как

при записи, так и при воспроизведении. Они возникают вследствие неточности изготовления отдельных вращающихся деталей лентопротяжного механизма, неравномерного вращения вала двигателя. Эти колебания имеют обычно периодический характер. Такое периодическое изменение скорости приводит к паразитной частотной модуляции записываемого сигнала.

Истинная скорость носителя записи представляет собой некоторую среднюю скорость, на которую наложен целый ряд переменных составляющих с частотами, кратными числу оборотов вращающихся деталей. Уменьшить колебания скорости носителя можно путем изготовления всех вращающихся деталей лентопротяжного механизма по высокому классу точности. Однако и в этом случае полностью устранить колебания скорости не удается. Вследствие деформации носителя записи при последующем воспроизведении будет происходить «накопление» ошибок скорости. Поэтому в тех случаях, когда колебания скорости должны быть предельно малыми, обычно применяют специальную следящую систему.

Искажения, вызванные периодическими колебаниями скорости движения носителя записи, принято называть детонацией. Она обычно характеризуется отношением $\Delta v_{макс}/v$ и измеряется в процентах, где $\Delta v_{макс}$ — величина максимального отклонения скорости от номинальной, а v — скорость движения носителя записи. В лентопротяжных механизмах промышленных магнитофонов частоты детонации лежат обычно в диапазоне низких частот.

Детонация является основной причиной, ограничивающей динамический диапазон записи процессов низкой частоты методом частотной модуляции.

Так как выполнение лентопротяжных механизмов с малой детонацией представляет большие технические трудности, то увеличение динамического диапазона обычно достигается применением частотных модуляторов с большим частотным отклонением (порядка 40—50%).

В качестве примера приведем приставку типа ПМД для записи инфразвуковых частот на магнитофонах со скоростями движения носителя записи 381 или 762 *мм/сек*, например на промышленных магнитофонах типов МАГ-8, МЭЗ-2, МЭЗ-15.

Приставка ПМД имеет следующие основные характеристики: полоса записываемых и воспроизводимых частот

от 3 до 200 *гц* с неравномерностью 3 *дб*; коэффициент нелинейных искажений не более 3%; входное напряжение 1 *в*; входное сопротивление 680 *ком*; выходное напряжение 2,5 *в*; сопротивление нагрузки не менее 10 *ком*; отношение сигнал/шум при номинальном режиме 40—46 *дб*.

Она состоит из двух основных частей: частотного модулятора с предварительным усилителем и демодулятора с оконечным усилителем. Схема приставки ПМД приведена на рис. 16.

Предварительный усилитель приставки выполнен на двойном триоде $Л_1$. С катодной нагрузки второго каскада снимается модулирующее напряжение и постоянный потенциал, величина которого определяет среднюю частоту частотного модулятора.

Частотный модулятор на лампе $Л_2$ представляет собой управляемый релаксационный генератор, частота которого в широких пределах пропорциональна напряжению, приложенному к управляющей сетке лампы. При выбранных величинах R_8, C_4 и начального потенциала средняя частота равна 3 000 *гц*, а девиация частоты при хорошей линейности составляет около ±50%. С анодной нагрузки R_9 снимается пилообразное напряжение.

Первый триод лампы $Л_3$ служит для усиления частотно-модулированных сигналов и одновременно является амплитудным ограничителем, устраняющим паразитную амплитудную модуляцию. С катодной нагрузки R_{16} второго триода этой лампы снимается напряжение на вольтметр U_1, контролирующий модулирующее напряжение на входе частотного модулятора. Напряжение с анодной нагрузки R_{13} лампы $Л_3$ через делитель R_{19} R_{20} подается на вход усилителя записи магнитофона.

С выхода усилителя воспроизведения магнитофона напряжение подается на вход демодулятора. Первый триод лампы $Л_4$ используется в качестве усилителя, а второй триод вместе с первым триодом лампы $Л_5$ работает в схеме спускового устройства, формирующего воспроизводимые сигналы в прямоугольные импульсы с равной амплитудой.

На нагрузке R_{34} частотного детектора, составленного из диодов $Д_1$ и $Д_2$, выделяется постоянная составляющая, огибающая которой соответствует записанному инфразвуковому сигналу. Выходное напряжение с оконечного усилителя на лампе $Л_6$ снимается через низкочастотный фильтр $L_1L_2C_{20}$.

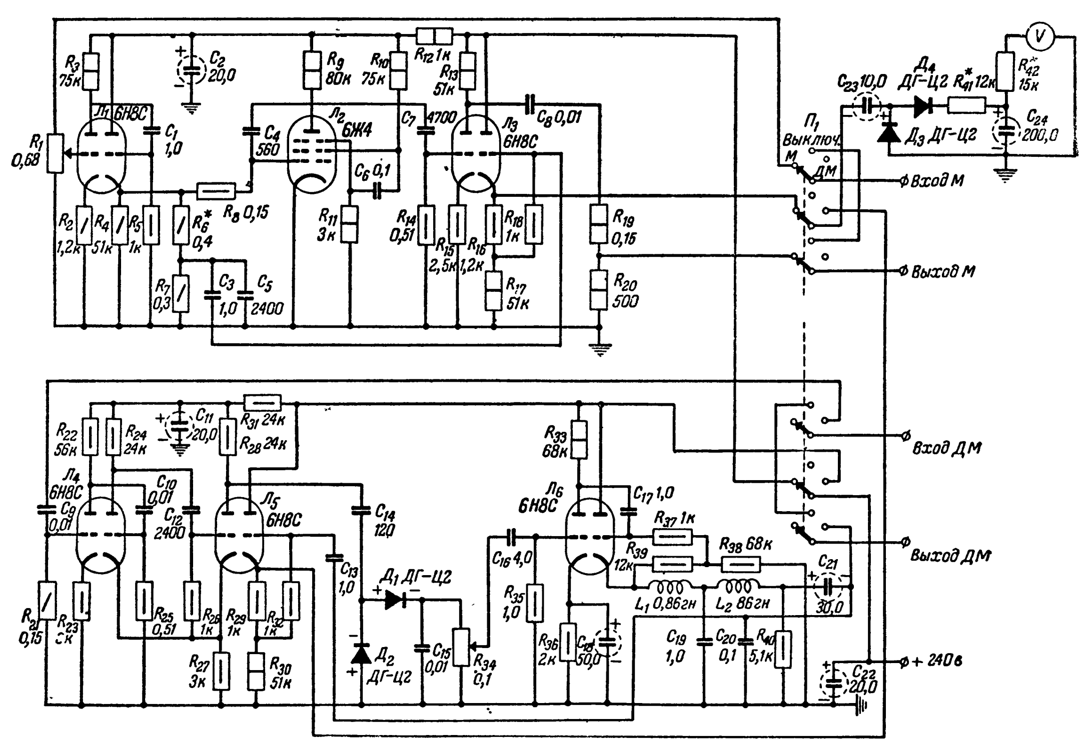


Рис. 16. Принципиальная схема приставки ПМД.
Детали, обозначенные звездочкой, подбираются при настройке.

При резонансной коррекции в усилителях записи и воспроизведения вследствие крутых фронтов сигнала возникает ударное возбуждение резонансных контуров, что существенно искажает форму сигнала. Поэтому при совместном использовании приставки и магнитофона в усилителях записи и воспроизведения следует исключить резонансную коррекцию, однако сквозная частотная характеристика при этом не должна иметь спад на частоте 4 000—4 500 *гц* более 3—5 *дб*.

Необходимо отметить, что приставка пригодна для записи и более низких частот, чем 3 *гц* (вплоть до постоянного тока); для этого нужно заменить предварительный и оконечный усилители усилителем постоянного тока.

Для расширения динамического диапазона можно также пойти по пути использования для записи инфразвуковых частот лентопротяжных механизмов, у которых частоты детонации лежат вне рабочего диапазона записываемых частот.

Основным параметром, определяющим выбор девиации частоты модулируемых колебаний, является величина паразитной модуляции за счет детонации. Увеличение отклонения частоты генератора повышает качество воспроизведения и расширяет динамический диапазон аппарата магнитной записи. Однако при увеличении девиации частоты свыше 50% резко усложняется схема записи ввиду сложности схем генераторов.

Несмотря на некоторую сложность аппаратуры, применение частотной модуляции все же дает значительно более высокие результаты, чем использование амплитудной модуляции, так как точность воспроизведения формы записываемых сигналов оказывается достаточно высокой. Это дает возможность проводить количественный анализ записываемых колебаний.

На рис. 17 представлена блок-схема магнитной записи инфразвуковых колебаний с частотной модуляцией регистрируемых сигналов. Канал записи состоит из предварительного усилителя *1*, генератора качающейся частоты *2* и оконечного усилителя *3*.

Предварительный усилитель обеспечивает управление работой генератора качающейся частоты, на выходе которого получаются колебания, модулированные по частоте. После усиления эти колебания поступают на головку записи и регистрируются на магнитную ленту. В качестве генератора качающейся частоты могут быть использова-

ны релаксационные и многоламповые RC-генераторы, генераторы с реактивной лампой, релаксационные транзитронные генераторы и т. д. Последние дают очень хорошие результаты, так как они обладают более крутой характеристикой изменения частоты от величины управляющего напряжения. Это позволяет обеспечить необходимую девиацию несущей частоты без значительного усиления модулирующего сигнала в предварительном усилителе.

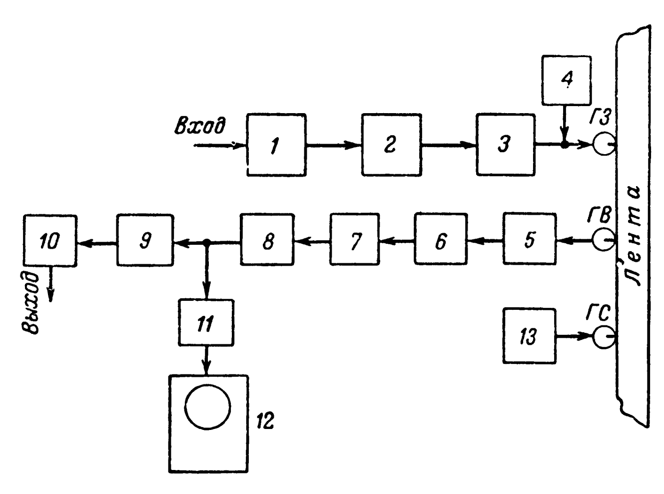


Рис. 17. Блок-схема магнитного самописца с частотной модуляцией записываемого сигнала.

1 — предварительный усилитель; 2 — генератор качающейся частоты; 3 — оконечный усилитель; 4 — генератор тока подмагничивания; 5 — предварительный усилитель; 6 — усилитель-ограничитель; 7 — частотный детектор; 8 — фильтр низкой частоты; 9 — оконечный усилитель; 10 — блок перезаписи; 11 — оконечный усилитель; 12 — осциллограф; 13 — генератор высокой частоты.

Канал воспроизведения состоит из предварительного усилителя 5, усилителя-ограничителя 6, частотного и амплитудного детекторов 7 и усилителя с фильтром нижних частот 8. Сигналы с воспроизводящей головки после усиления в усилителе 5 поступают на усилитель-ограничитель, на выходе которого получаются прямоугольные импульсы с достаточно крутым передним и задним фронтами. Детектор преобразует сигнал, поступающий на его вход от усилителя-ограничителя в модулирующий сигнал. Затем этот сигнал проходит через фильтр нижних частот и после усиления в усилителе 9 поступает на вход блока

перезаписи *10*. Этот же сигнал можно наблюдать на экране осциллографа *12*.

Использование в качестве демодулятора стандартного прибора—измерителя частоты ИЧ-6 позволяет более чем в 2 раза по сравнению с известными схемами уменьшить количество каскадов электронной части. При использовании прибора ИЧ-6 добавляется только простое переходное устройство (рис. 18), которое включается вместо стрелочного индикатора прибора ИЧ-6, причем конденсаторы фильтра, шунтирующие индикатор, предварительно

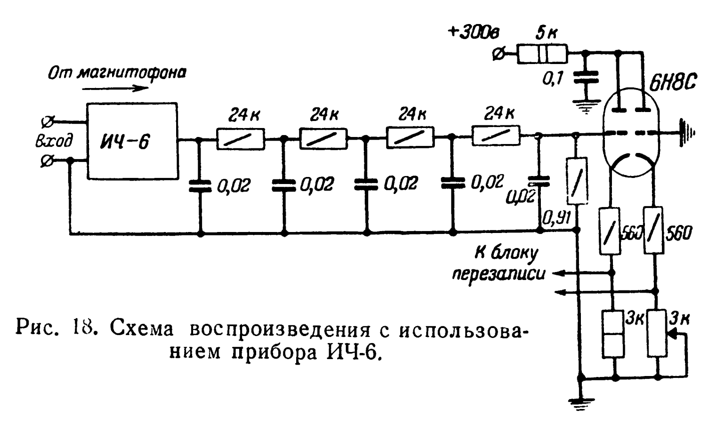


Рис. 18. Схема воспроизведения с использованием прибора ИЧ-6.

отключаются. При перезаписи на пленку или бумагу к выходу переходного устройства подключается блок перезаписи.

Регулировка чувствительности демодулятора производится посредством переключателя диапазонов ИЧ-6. Если регистрируемый сигнал содержит только инфразвуковые составляющие, то блок перезаписи подключается непосредственно на зажимы прибора ИЧ-6, но конденсаторы фильтра стрелочного индикатора необходимо подключить.

Для оценки длительности регистрируемых процессов в аппарате магнитной записи предусматривается привязка их ко времени. Отметки времени можно наносить непосредственно на дополнительную дорожку, для чего используется специальный канал записи. Эти же сигналы возможно использовать для стабилизации скорости движения ленты путем создания специальной следящей системы. Однако введение дополнительного канала несколько усложняет аппаратуру записи, поэтому в аппарате

магнитной записи с достаточной стабильностью скорости движения магнитной ленты отметки времени иногда наносят непосредственно на бумажную ленту, являющуюся носителем перезаписи. Это осуществляется с помощью специального вибратора, работающего от датчика электрических импульсов отметки времени.

Применение специальных головок

В настоящее время для воспроизведения инфразвуковых колебаний применяются различные магнитные головки, реагирующие на величину потока. К ним относятся головки, основанные на эффекте Фарадея, электронно-лучевые головки, головки с модуляцией магнитного потока, вращающиеся магнитные головки и т. д. Разберем принцип действия некоторых из них.

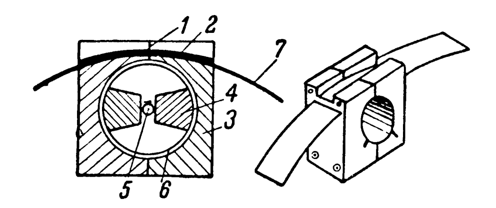


Рис. 19. Разрез электронно-лучевой головки.

1 — рабочий зазор; *2* — магнитная лента; *3* — магнитопровод; *4* — полюсные наконечники; *5* — электронный луч; *6* — стеклянная колба; *7* — „усы".

Электронно-лучевая воспроизводящая головка. Принцип действия этой головки основан на известном явлении отклонения электронного пучка в магнитном поле. Рассмотрим характеристики одной из существующих головок.

Головка (рис. 19) имеет сердечник, состоящий из двух полуколец, набранных из пермаллоевых пластин толщиной 0,33 *мм*. Полукольца охватывают электронно-лучевую трубку специальной конструкции с внешним диаметром около 19 и высотой 76 *мм*. Она отличается от обычных электронно-лучевых трубок тем, что имеет внутренние магнитные полюсные наконечники и три коллекторные пластины, установленные вместо экрана. В качестве рабочего зазора головки используется прокладка между двумя половинами сердечника толщиной 0,0075 *мм*.

Схема включения электронно-лучевой трубки приведена на рис. 20. Магнитный поток намагниченного участка ленты замыкается по сердечнику и через стеклянные стенки трубки действует на полюсные наконечники, являющиеся, по существу, продолжением магнитопровода головки. Электронный пучок, проходя между полюсными наконечниками, отклоняется магнитным полем и попадает на ту или иную коллекторную пластину в зависимости от напряженности этого поля. Коллекторные пластины разделены между собой узкой щелью, против которой располо-

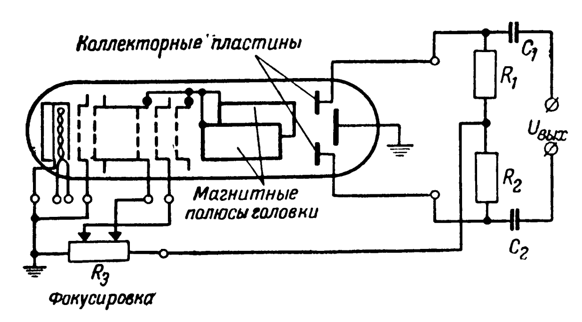


Рис. 20. Электрическая схема включения электронно-лучевой трубки.

жена третья заземленная пластина. Назначение ее состоит в отталкивании электронов, проникающих через щель, вследствие чего как бы уменьшается эффективная ширина щели и повышается чувствительность головки.

При наличии сигнала анодные токи будут различными по величине, и их разность будет представлять напряжение выходного сигнала, которое снимается с сопротивлений R_1 и R_2. Величина выходного сигнала не зависит от частоты записанных сигналов и скорости движения ленты при воспроизведении. Зависимость выходного сигнала от изменения потока линейна в дапазоне ± 1 *гс*, что превышает почти в 50 раз диапазон изменения потока в обычной воспроизводящей головке. При насыщенном носителе записи с остаточной индукцией $B_r = 600$ *гс* выходное напряжение составляет около 600 *мв* (при высокоомной нагрузке).

Если величина считываемого сигнала в обычной головке, с которой производились опыты, не превышала 10 *мв*, то амплитуда воспроизводимого сигнала на выходе го-

ловки с электронно-лучевой трубкой равнялась 200 *мв* при нагрузке в 200 *ком*.

Необходимо отметить, что при воспроизведении инфразвуковых частот большое значение имеет геометрия головки. Дело в том, что при воспроизведении больших длин волн начинает сказываться эффект обтекаемости. Он заключается в том, что при воспроизведении бо́льшая часть потока с носителя замыкается не через головку, и в последнюю попадает только очень малая часть потока, что определяет резкое снижение уровня выходного сигнала. Для преодоления этого эффекта меняют геометрию магнитопровода головки. Как видно из рис. 19, дополнительные «усы» собирают поток с носителя и замыкают его через головку.

Электронно-лучевая головка обладает наибольшей чувствительностью по сравнению с головками аналогичного назначения. К недостатку головки следует отнести ее довольно значительные габариты, почти полностью исключающие использование ее при многодорожечной записи.

Головка с модуляцией магнитного потока. Принцип действия этой головки заключается в периодическом изменении сопротивления ее магнитопровода, в результате чего происходит модуляция магнитного потока с ленты и головка реагирует не на производную от потока, а на его величину.

Изменение сопротивления магнитопровода головки производят либо механическим путем, либо путем периодического изменения магнитной проницаемости посредством подмагничивания дополнительным током возбуждения.

Сопротивление магнитопровода можно изменять периодическим шунтированием заднего зазора обычной кольцевой головки клином, укрепленным на вибраторе (рис. 21). Последний приводится в колебание механическим возбудителем, работающим на собственной резонансной частоте. Головка имеет две обмотки, одна из которых w_1 является выходной, а другая w_2 —вспомогательной. В обмотку w_2 подается постоянный ток с целью выбора рабочей точки и для градуировки системы. Опыты показали, что головка обладает невысокой чувствительностью. Повышение чувствительности путем увеличения частоты изменения сопротивления ограничивается сложностью выполнения подвижной системы.

Возможно также достигнуть изменения сопротивления

шунтированием рабочего зазора головки при помощи ротора, снабженного зубцами (рис. 22).

Кроме того, возможна система, в которой ротор, помещенный внутри магнитопровода головки, поочередно шунтирует рабочий и задний зазоры (рис. 23).

Принципиальное устройство головки с периодическим изменением магнитной проницаемости сердечника показа-

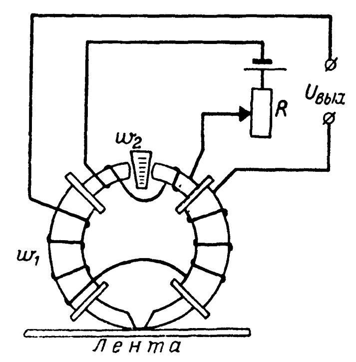


Рис. 21. Изменение магнитного сопротивления головки с помощью клина.

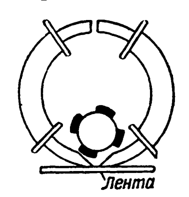
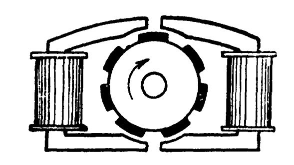


Рис. 22. Воспроизводящая головка с шунтированием рабочего зазора при помощи ротора с зубцами


Рис. 23. Магнитная головка с поочередным шунтированием рабочего и заднего зазоров.

но на рис. 24. В сердечнике головки наряду с магнитным полем от носителя записи действует вспомогательное поле возбуждения. Это поле создается током $I_в$ в обмотках w_1, подключенных к генератору колебаний частоты $f_в$. Обмотки соединены так, что переменный магнитный поток $\Phi_в$ не проходит по всему сердечнику, а замыкается на участке магнитопровода, охваченном обмоткой w_1. В результате действия поля возбуждения и поля с носителя в обмотке w_2 будет индуктироваться переменная э. д. с., которая изменяется с удвоенной частотой тока возбуждения, а амплитуда ее огибающей пропорциональна потоку Ф с носителя.

Амплитудная характеристика магнитной модуляционной головки по второй гармонике дана на рис. 25. При изменении полярности (направления) намагниченности изменяется фаза э. д. с., а амплитуда ее остается неизменной.

Применение описываемой головки несколько осложняется тем, что в ее выходной обмотке w_2, кроме э. д. с., обусловленной сигналом, записанным на носителе записи, индуктируется э. д. с. (так называемая начальная э. д. с.), не зависящая от того, есть ли сигнал на носителе записи или нет. Основной причиной возникновения начальной

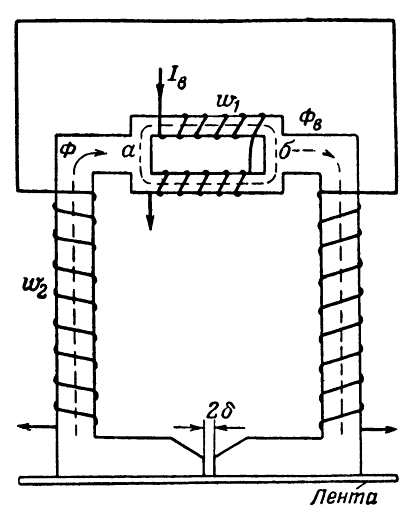


Рис. 24. Принципиальное устройство головки с периодическим изменением магнитной проницаемости.

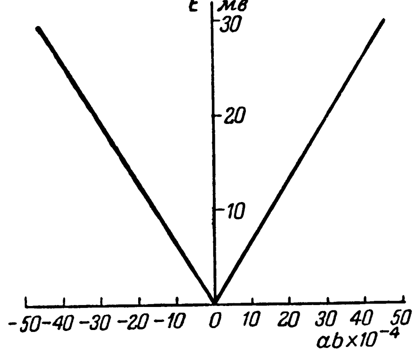


Рис. 25. Амплитудная характеристика головки.

э. д. с. является асимметрия головки вследствие неоднородности магнитных свойств сердечника, его геометрической асимметрии и ряда других причин. Из-за асимметрии часть потока возбуждения проникает в основной участок магнитопровода головки, пронизывая ее рабочий зазор. Эта часть потока столь мала, что не вызывает заметного стирания сигналов, записанных на носителе. Однако даже при самой незначительной асимметрии в выходную обмотку трансформируется э. д. с., амплитуда которой значительно превышает э. д. с. полезного сигнала.

Наряду с мерами, направленными на уменьшение асимметрии, которые в основном сводятся к тщательности изготовления магнитопровода головки и ее сборки, улучшение отношения полезного сигнала к начальной э. д. с. достигается применением фильтров, настроенных на вторую гармонику э. д. с. головки. Схема включения головки при использовании второй гармоники э. д. с. приведена на рис. 26.

Для подавления четных гармоник э. д. с. небаланса обмотка возбуждения w_1 питается от генератора *1* через фильтр *2*, ослабляющий вторую гармонику тока возбуж-

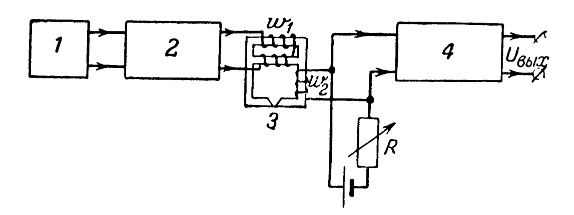


Рис. 26. Схема включения головки.
1 — генератор; *2* и *4* — фильтры; *3* — магнитная головка.

дения. Выходная обмотка w_2 нагружена на полосовой фильтр *4*, настроенный на вторую гармонику выходной э. д. с. Кроме того, обмотка w_2 питается постоянным током для компенсации внешних постоянных полей и остаточной намагниченности сердечника головки.

Глава четвертая

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ТЕЛЕМЕТРИИ

Магнитная запись получила широкое распространение в телеметрии, несмотря на некоторые трудности, связанные с ее внедрением.

Магнитная запись результатов измерений на ферромагнитный носитель позволяет производить одновременную регистрацию нескольких параметров, причем полученные данные можно анализировать раздельно. Таким образом, требуется только один комплект записывающей и анализирующей аппаратуры.

При использовании ферромагнитного носителя записи плотность записи оказывается достаточно высокой, что обеспечивает большую емкость регистрирующего устройства. Все произведенные записи могут быть стерты, а носитель использован вновь. Это дает большой экономический эффект.

Конструктивное оформление записывающих устройств зависит от вида объектов, для регистрации параметров которых они предназначены, и от метода записи данных. Аппараты магнитной записи должны обеспечивать надеж-

ную работу в условиях больших ударных нагрузок, вибрации, низких и высоких температур, повышенной влажности и т. д. Конструкция записывающих аппаратов должна быть прочной и компактной.

Запись данных с временной селекцией каналов. Метод записи данных на магнитную ленту с временным разделением каналов заключается в том, что в каждый данный момент времени передается и записывается только одно сообщение, и если необходимо передать *n* данных, то их следует передавать поочередно одно за другим. Отсюда следует, что непрерывная передача данных исключена и каждое сообщение может передаваться лишь дискретно. Таким образом, записываемый сигнал будет состоять из серии импульсов, каждый из которых представляет собой значение регистрируемого параметра одного канала в данный момент времени.

Для передачи сообщений с временной селекцией каналов применяют систему импульсной модуляции. Различают следующие наиболее употребительные системы импульсной модуляции:

1) амплитудная импульсная модуляция (АИМ), при которой амплитуда импульса пропорциональна величине записываемого сигнала;

2) импульсная модуляция по длительности (ДИМ), при которой длительность импульсов пропорциональна величине записываемых сигналов;

3) временная импульсная модуляция (ВИМ), при которой положение импульсов во времени (относительно фиксированных контрольных импульсов или относительно предыдущего импульса) пропорционально записываемому сигналу;

4) кодовая импульсная модуляция (КИМ), при которой величина сигнала, несущего сообщение, преобразуется в соответствующую кодовую группу, состоящую из комбинации импульсов и пауз.

Наряду с помехами, воздействующими на канал записи данных, большое влияние на точность системы записи их на магнитную ленту с временной селекцией каналов оказывают характеристики и самого аппарата записи, обусловленные спецификой свойств магнитной записи. При использовании, например, АИМ точность системы будет снижаться за счет искажений амплитуды записанных импульсов, вызванных неоднородностью ферромагнитного покрытия носителя записи. Поэтому в этом слу-

чае количественная оценка результатов при воспроизведении будет весьма приближенной.

В системах, в которых используется ВИМ или ДИМ, аппарат записи также заметно снижает ее точность вследствие искажений длительности записанных импульсов или временны́х интервалов между ними за счет детонации лентопротяжного механизма. Однако при использовании в системе аппарата записи с малой детонацией возможно производить количественную оценку результатов с большой точностью.

Выбор вида модуляции для создания системы записи данных на ферромагнитную ленту с временно́й селекцией

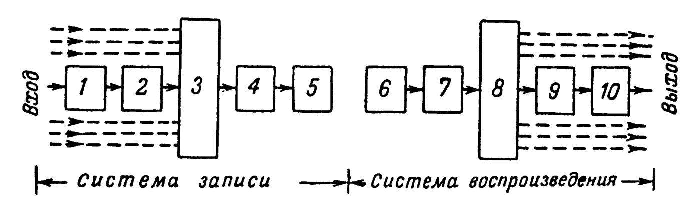


Рис. 27. Блок-схема записи данных с временно́й селекцией каналов.

1 — усилитель; *2* — модулятор; *3* — коммутатор; *4* — усилитель записи; *5* — запись на ленту; *6* — воспроизведение с ленты; *7* — усилитель воспроизведения; *8* — коммутатор; *9* — демодулятор; *10* — индикатор.

каналов звисит от необходимой помехозащищенности системы, а следовательно, от требуемой точности, от условий работы системы, а также от требуемой простоты устройства.

Так, например, системы кодово-импульсной модуляции являются наиболее помехозащищенными, но и наиболее сложными. Системы амплитудной модуляции являются наименее помехозащищенными и точными, но более простыми. Поэтому при выборе вида модуляции необходимо поступать сообразно с каждым конкретным случаем.

Блок-схема системы многоканальной записи с временно́й селекцией представлена на рис. 27. Различные входные сигналы подвергаются усилению (если это необходимо), модулируются и подаются на вход коммутатора, который может быть механическим, электронным, электронно-лучевым, матричным и на магнитных элементах. После коммутатора результирующая серия импульсов представляет собой одноканальный сигнал, который усиливается в усилителе записи и записывается на магнитную ленту. При

воспроизведении с ленты этот сигнал усиливается, после чего требуется распределить импульсы по соответствующим каналам. Коммутатор в этой цепи обычно должен быть безынерционен; механический переключатель применять нежелательно из-за чрезмерно большой инерции, что делает невозможным точную синхронизацию. После демодуляции импульсов и интегрирования на выходе получаем сообщение непрерывного вида.

Использование того или иного вида коммутатора накладывает определенные условия на аппарат записи данных на магнитную ленту. Частотная характеристика, требуемая от записывающего аппарата, зависит от скорости коммутации. При применении механических коммутаторов данные могут быть записаны на обычном магнитофоне с частотным диапазоном до 10 *кгц*. Если в системе применяются безынерционные виды коммутаторов, то возможно использовать аппарат записи с более широким частотным диапазоном.

Запись данных с частотной селекцией каналов. При записи данных с частотной селекцией каналов связи все они в любой момент времени передаются и записываются одновременно. Если необходимо записать n данных, то применяют n генераторов несущих частот. Каждую из несущих модулируют одним из данных. В результате получают около каждой несущей полосу частот. При правильно выбранных диапазонах между несущими их спектры не перекрываются. Модулированные несущие различных частот смешиваются затем в один общий сигнал, который может быть записан по одному каналу записи. Система модуляции может быть амплитудной или частотной в зависимости от конкретных требований и характеристик аппарата записи на магнитную ленту.

Типовая блок-схема записи данных на магнитную ленту с частотной селекцией каналов представлена на рис. 28. Различные входные сигналы усиливаются (если это необходимо), затем каждый сигнал подается на вход генератора несущей частоты. Чаще всего в качестве генератора несущей частоты для этих целей используется мультивибратор. Модулированные несущие с выхода генератора складываются затем в смесительной схеме, которая в простейшем случае может состоять из ряда сопротивлений, соединенных таким образом, чтобы складывать различные сигналы при обеспечении надлежащей изоляции между отдельными каналами. Смешанный сложный сиг-

нал подается затем на вход усилителя записи и записывается на магнитную ленту.

При воспроизведении этого сложного сигнала его составляющие распределяются по соответствующим каналам посредством полосовых фильтров. Затем сигнал в каждом канале демодулируется с помощью частотного детектора, выходной сигнал которого представляет собой переданное сообщение одного канала.

Частоты отдельных несущих и требуемая частотная характеристика записывающего аппарата зависят от высшей

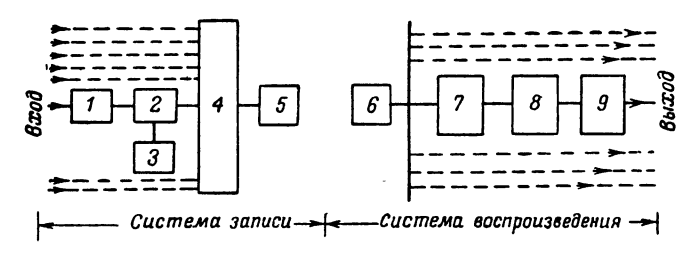


Рис. 28. Блок-схема записи данных с частотной селекцией каналов.

1 — усилитель; *2* — модулятор; *3* — генератор несущей частоты; *4* — смеситель; *5* — запись на ленту; *6* — воспроизведение с ленты; *7* — полосовой фильтр; *8* — демодулятор; *9* — индикатор.

частоты, которую необходимо записать. Как при амплитудной модуляции, так и при узкополосной частотной модуляции модулированная полоса частот имеет ширину порядка двойной модулирующей частоты. Выбор между амплитудной и частотной модуляцией зависит главным образом от каждого конкретного случая. Например, при записи сообщений ультразвуковой частоты (свыше 20 *кгц*) системы амплитудной модуляции не могут быть применены, если необходима бо́льшая точность, так как неравномерность покрытия носителя записи может вызывать значительные паразитные изменения высокочастотных амплитуд. Поэтому в этих случаях желательно использовать частотную модуляцию, тогда запись не будет зависеть от характеристик ленты и записывающей головки. Ввиду того, что девиация составляет не более 30—35% от основной частоты, требования к стабильности движения ленты оказываются весьма жесткими. Для этого необходимы лентопротяжные механизмы с весьма малыми колебаниями скорости.

При записи данных, частоты которых лежат в диапазоне 100—10 000 *гц*, амплитудная модуляция дает весьма удовлетворительные результаты.

В случае частотно-модулированных несущих наилучшие результаты получаются при использовании электронной компенсации неравномерностей в движении. Эта компенсация состоит в записи по одному из каналов немодулированной несущей и подачи ее с выхода этого канала ко всем остальным каналам с надлежащим согласованием по амплитуде и сдвигом по фазе для уничтожения состав-

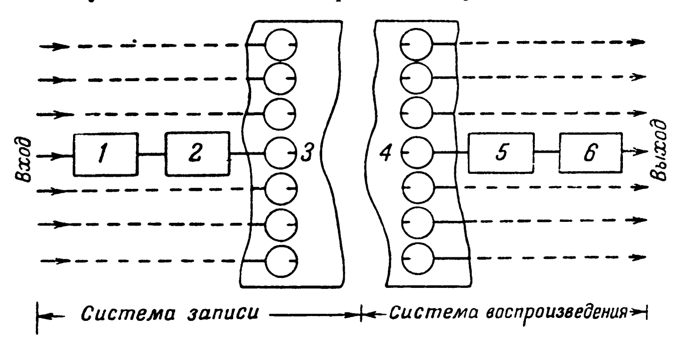


Рис. 29. Запись данных по методу пространственного разграничения.

1 — усилитель; *2* — блок записи на ленту; *3* — головка записи; *4* — головка воспроизведения; *5* — блок воспроизведения с ленты; *6* — индикатор.

ляющих, вызванных пульсацией скорости транспортировки ленты. Применение таких компенсационных схем может уменьшить помехи, возникающие в выходных сигналах за счет неравномерности движения. Поскольку такая компенсация дополнительно усложняет аппаратуру, то в системах записи, где не требуется высокая точность, можно сбойтись без применения электронной компенсации.

Запись данных по методу пространственного разграничения. При записи данных по методу пространственного разграничения различные сообщения записываются параллельно на соседних магнитных дорожках на одной ленте посредством многоканальных записывающих головок.

Основная блок-схема записи данных на несколько дорожек представлена на рис. 29. Установка состоит, по существу, из ряда независимых каналов записи и воспроизведения, с тем лишь исключением, что иногда может

быть применен общий генератор для подмагничивания и стирания.

В качестве примера системы записи данных на магнитную ленту по методу пространственного разграничения каналов приведем аппаратуру записи данных на борту самолета, выпускаемую одной из канадских фирм. Система предназначена для записи таких характеристик полета, как вибрация, давление, температура, ускорение, деформация и т. д. Оборудование работает при самых неблагоприятных условиях, действует автоматически и хорошо управляется на расстоянии. Запись в системе производится на 28 магнитных дорожках, из которых 24 используются для записи данных от соответствующих датчиков, а 4 являются вспомогательными. При скорости 254 *мм/сек* на ленте стандартной толщины емкость записи составляет 43 *мин*. Это время может быть увеличено до 75 *мин* и более, если применять более тонкие ленты, а требуемую скорость довести до 190,5 *мм/сек*. Система выполнена в виде компактного аппарата, включающего усилители, модуляторы, калибратор, генератор синхронизирующих импульсов, блок питания с дистанционным контролем и блок записи на ленте. Составной частью системы является блок воспроизведения, с помощью которого можно воспроизвести записанные характеристики полета в электрической форме и проделать необходимые наземные анализы и вычисления. При импульсной модуляции по длительности погрешность системы не превышает 1%. Если используется широкополосная частотная модуляция, то погрешность системы составляет менее 3%.

Глава пятая

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ДЛЯ ЗАДЕРЖКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

При работе с электрическими сигналами нередко возникает необходимость в их задержке во времени. Такая задержка создается с помощью специальных устройств, называемых линиями задержки.

Линии задержки электрических сигналов звукового диапазона частот можно подразделить на электрические, электроакустические и электромеханические. Реальные и искусственные линии передач относятся к первому типу и

обычно с их помощью можно создать задержку не более чем доли секунды. Недостаток первых двух типов заключается в том, что их характеристики подчас ограничиваются характеристиками передатчика, а ослабление сигнала находится в зависимости от величины задержки.

Развитие за последнее время магнитной записи дает возможность использовать магнитный материал как среду для линий задержки. В качестве носителя записи могут быть использованы диск, магнитный барабан или магнитная лента. Задержка сигнала обеспечивается за счет времени прохождения записанного сигнала от головки записи до головки воспроизведения. Время задержки может быть определено по формуле

$$\tau = \frac{l}{v},$$

где l — длина магнитного носителя между головкой записи и воспроизведения;

v — средняя скорость носителя записи.

Барабаны и диски обладают тем преимуществом, что они имеют более простую конструкцию механического привода и неограниченный срок службы носителя.

Возможность применения больших линейных скоростей носителя для барабанов (дисков) позволяет получить более короткие временные задержки и расширяет частотный спектр записываемых сигналов. Точность времени задержки получается более высокой, так как отсутствуют изменения линейных размеров, наблюдаемые в случае использования ленты.

Для того чтобы свести к минимуму колебания времени задержки τ, скорость вращения барабана должна поддерживаться постоянной. Колебание скорости вращения барабана оказывает двоякое воздействие на систему: во-первых, происходит частотная модуляция воспроизводимых сигналов, а, во-вторых, модулируется величина времени задержки τ.

Большое влияние на скорость вращения барабана оказывает частота напряжения, питающего ведущий двигатель. Всякое колебание частоты будет вызывать существенные паразитные колебания скорости барабана, а отсюда и колебание частоты воспроизводимого сигнала и относительного времени задержки.

Иногда для стабилизации скорости вращения бараба-

на вводят дополнительную дорожку, на которую записываются синхронизирующие импульсы. При воспроизведении эти импульсы сравниваются по фазе с импульсами от специального сигнал-генератора. С помощью следящей системы, выявляющей рассогласование между импульсами, стабилизируется скорость вращения ведущего двигателя, а следовательно, и скорость барабана. Несмотря на некоторую сложность этой системы стабилизации, при ее введении добиваются весьма высоких результатов.

При вращении магнитного барабана происходит колебание величины зазора, что вызывает паразитную амплитудную модуляцию выходного сигнала.

Изменение амплитуды выходного сигнала можно определить как

$$\Delta A = c\frac{\Delta d}{\lambda}\ [\partial б], \qquad (3)$$

где c — коэффициент, учитывающий потери, обусловленные зазором между головками и поверхностью барабана;

Δd — величина изменения зазора.

Из формулы (3) видно, что паразитная амплитудная модуляция не зависит от абсолютной величины зазора, а является функцией его приращения. Устранение паразитной амплитудной модуляции выходного сигнала достигается прежде всего путем выполнения барабана по высокому классу точности или применением головок, «плавающих в воздухе».

Было установлено, что значительное снижение паразитной амплитудной модуляции может быть достигнуто соответствующим выбором режима записи. На рис. 30 приведена хорошо известная зависимость $U_{вых} = f(I_п)$ при постоянном уровне записи.

Если ток подмагничивания $I_п$ выбрать больше оптимальной величины, то при увеличении зазора величина сигнала будет убывать, уменьшение же тока подмагничивания приводит к режиму, близкому к оптимальному, что вызывает увеличение выходного сигнала $U_{вых}$. При уменьшении зазора сигнал возрастает, однако, как следует из рис. 30, вследствие возрастания тока подмагничивания выходной сигнал не увеличивается. Таким образом, при выборе величины подмагничивания несколько больше оптимальной происходит некоторая компенсация измене-

ний выходного сигнала, вызванных колебанием зазора между поверхностью барабана и головками.

Зазор между головками и поверхностью барабана обусловливает потери записи. С одной стороны, уменьшается поле головки, действующее на носитель, с другой — увеличивается эффективная ширина зазора записывающей головки. Уменьшение поля головки не влияет на частотную характеристику системы и может быть компенсировано соответствующим увеличением тока записи. Увеличение эффективной ширины зазора существенно влияет на частотную характеристику системы, в частности, вследствие «стирания» предыдущих сигналов последующими.

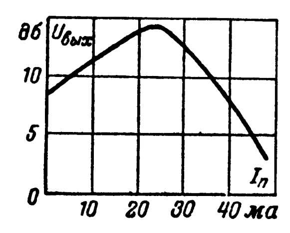


Рис. 30. Зависимость выходного напряжения от тока подмагничивания.

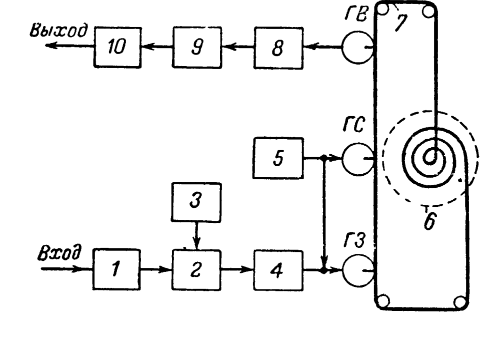


Рис. 31. Блок-схема задержки с применением амплитудной модуляции.

1 — усилитель; *2* — модулятор; *3* — генератор несущей частоты; *4* — усилитель мощности; *5* — генератор высокой частоты; *6* — кассета непрерывного действия; *7* — ферромагнитная лента; *8* — усилитель; *9* — детектор; *10* — выходной каскад.

При использовании в качестве носителя записи магнитной ленты между головками записи и воспроизведения должно находиться большое количество ленты, длина которой

$$l = v\tau,$$

где v — скорость транспортировки ленты;

τ — время задержки.

Для размещения между головками такого количества ленты (достигающего при большой величине задержки сотен метров) применяют специальное устройство в виде так называемой кассеты непрерывного действия. Очевидно, имея кассеты такого типа, рассчитанные на различный запас ленты, можно получить практически любое время

задержки путем изменения скорости транспортировки ленты.

Магнитную запись возможно использовать и для задержки во времени процессов, протекающих в диапазоне инфразвуковых частот. В этом случае запись производится методом модуляции. С необходимостью создания задержки таких процессов сталкиваются, например, при моделировании объектов автоматического регулирования.

Принципиальная схема задержки сигналов инфразвуковых частот зависит от вида модуляции и демодуляции записываемого сигнала. Блок-схема системы задержки с применением амплитудной модуляции приведена на рис. 31. Сигнал подается на модулятор. Полученный промодулированный сигнал после усиления поступает на головку записи и записывается на магнитную ленту. Затем лента проходит кассету непрерывного действия и далее транспортируется мимо головки воспроизведения. Воспроизводимый сигнал усиливается и демодулируется. На выходе демодулятора получается медленно изменяющийся сигнал, подобный записываемому, но сдвинутый относительно него по фазе на величину τ.

Глава шестая

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Магнитная запись в фототелеграфии

За последние годы магнитная запись находит все более широкое применение в технике связи для оконечной записи фототелеграфных сигналов (феррография) и для промежуточной их консервации (магнитный переприем). Такая универсальность использования магнитной записи является одним из решающих преимуществ магнитного метода перед другими видами записи, применяемыми в фототелеграфии, поскольку использование магнитной записи позволяет создавать промежуточную ретрансляционную и оконечную фототелеграфную аппаратуру на общей конструктивно-технологической базе.

Феррография. Принципиально процесс феррографии не отличается от магнитной записи электрических сигналов. При записи происходит намагничивание носителя определенным образом в соответствии с принимаемой фототелеграммой. Носитель записи движется относитель-

но магнитной записывающей головки (или наоборот) синхронно и синфазно с относительным движением анализирующей оптики и передаваемого оригинала на передающей стороне.

На рис. 32 представлена блок-схема магнитной записи фототелеграфного изображения на магнитный барабан. Как видно, процесс записи подобен процессу магнитной записи звука, только в случае феррографии предъявляются несколько иные требования к форме и магнитным свойствам носителя записи, а также к конструкции магнитной головки.

По форме носитель записи должен быть таким, чтобы фототелеграмма принималась без искажений, т. е. размеры носителя должны соответствовать размерам принимаемой фототелеграммы.

Магнитные свойства носителя записи оказывают существенное влияние на качество получаемого изображения. Ввиду малой ширины спектра записываемого фототелеграфного сигнала основные требования, предъявляемые к магнитоносителю при магнитной записи звука (большой динамический и частотный диапазоны записи), не являются решающими для процесса феррографии. Для феррографии важно, чтобы намагниченный носитель обладал большой «подъемной силой», ибо только в этом случае при проявлении порошок будет хорошо притягиваться к носителю записи.

Конструктивной особенностью магнитной головки для феррографии является узкая пишущая щель (10—15 *мк*), что обеспечивает малые искажения.

В отличие от записи звука в феррографии используется не только продольный поток рассеяния магнитной головки, но и поперечный (рис. 33). Узкие магнитные головки, применяемые в феррографии, имеют соотношение ширины щели к ее длине порядка 3—10, и поэтому роль поперечного потока рассеяния для них возрастает.

Ширина щели (толщина набора магнитопровода) выбирается обычно равной шагу развертки и составляет около 0,2 *мм*, что соответствует пяти линиям на миллиметр.

При необходимости разрешающую способность феррографической записи можно повысить путем уменьшения размеров пишущей щели магнитной головки и шага развертки.

Для записи используется модулированный по амплитуде фототелеграфный сигнал в том виде, в каком он по-

лучается на выходе фотопередатчика и в линии. Запись производится при подаче ультразвукового подмагничивания в магнитную головку с подбором оптимальной величины тока подмагничивания. В результате записи на носителе

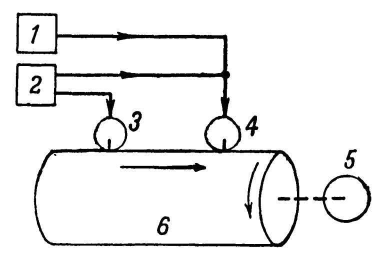


Рис. 32. Блок-схема магнитной записи фототелеграфного изображения на магнитный барабан.

1 — усилитель записи; 2 — генератор высокой частоты; 3 — головка стирания; 4 — головка записи; 5 — электродвигатель; 6 — барабан.

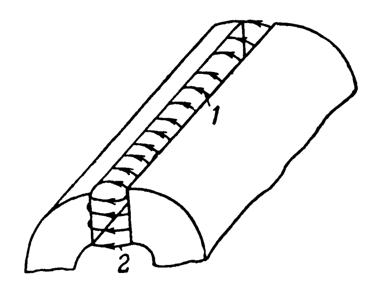


Рис. 33. Распределение потоков в головке.

1 — продольный поток рассеяния; 2 — поперечный поток рассеяния.

получается скрытый «магнитный рельеф», соответствующий принимаемому изображению.

До момента получения «магнитного рельефа», как видно из сказанного, процесс феррографии действительно принципиально ничем не отличается от других видов магнитной записи (например, магнитной записи звука). Дальнейший технологический процесс (рис. 34) происходит совсем по иной схеме и является специфичным только для феррографии.

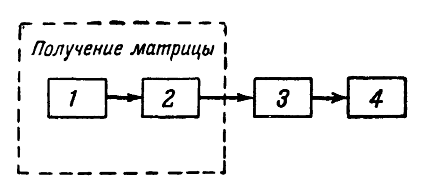


Рис. 34. Технология процесса феррографии.

1 — магнитная запись; 2 — проявление записи; 3 — печать на бумагу; 4 — закрепление.

Проявление магнитного рельефа состоит в обработке намагниченного носителя мелким ферромагнитным порошком. Процесс проявления может быть сухим и мокрым. Сухое проявление осуществляется при помощи ферромагнитного порошка, распыленного в виде облака или просто в ванне с мелкораздробленным магнитным порошком. Мокрое проявление произодится при помощи ферромагнитных суспензий путем полива носителя записи. Из-за большой подвижности частиц порошка в жидкости

мокрый способ дает лучшие с точки зрения разрешающей способности результаты.

Магнитные характеристики проявляющего порошка оказывают существенное влияние на качество получаемого изображения. Поэтому важно правильно выбрать проявляющий порошок. Для проявления могут быть использованы никельцинковые ферриты, ферриты кобальта, γ-окись железа, магнетиты, карбонильное железо и т. д., т. е. магнитомягкие материалы, обладающие большой магнитной восприимчивостью и малой коэрцитивной силой.

Результатом процесса проявления является видимый рисунок на магнитоносителе, образованный проявляющим порошком.

Третьим этапом в технологии феррографического процесса является печать. При печати происходит перенос изображения с матрицы (проявленного носителя записи) на бумагу, которую рекомендуется слегка увлажнять или покрывать слоем клеящего вещества. В результате печати на бумаге получается принимаемое изображение.

С носителя записи после повторных проявлений могут быть получены второй, третий и т. д. отпечатки, т. е. носитель записи с проявленным магнитным рельефом является печатной формой (матрицей).

Получив нужное число оттисков, матрица может быть размагничена, ферромагнитный порошок с матрицы снят, после чего носитель готов к последующим записям.

Последний этап в технологии феррографии заключается в закреплении изображения на бумаге. Выбор того или иного вида закрепления определяется технологическими и экономическими факторами. Например, можно покрывать изображение бесцветным лаком, целлофаном, применять глянцевание и т. д.

Магнитный переприем фототелеграмм. Непосредственная передача фототелеграммы из одного пункта в другой возможна лишь в том случае, если между этими пунктами имеется прямая электрическая связь. Если прямой связи нет, то передача фототелеграммы ведется через один или несколько пунктов либо путем соответствующей коммутации каналов (электрический транзит), либо путем временной консервации сигналов в промежуточном пункте и повторной передаче фототелеграммы в нужном направлении (магнитный переприем).

Доказано, что системы связи, использующие пере-

прием, в несколько раз дешевле, чем системы, использующие электрический транзит. Кроме того, такие системы могут охватывать большое количество городов и населенных пунктов.

В настоящее время переприем фототелеграмм осуществляется в основном оптическим методом. Однако этот метод не позволяет вести качественный многократный переприем, и при его использовании в получаемое изображение вносятся большие искажения.

Начиная с 1951 г., в СССР ведутся исследования магнитного метода переприема фототелеграмм (И. Е. Горон и др.). В результате работ, проведенных за последние годы в СССР и за границей, были созданы аппараты для магнитного переприема фототелеграмм. Одновременно с этим ведутся всесторонние теоретические исследования вопроса.

Особенность фототелеграфного сигнала заключается в том, что его частотный спектр занимает полосу примерно от 300 до 3 000 *гц*. Это объясняется использованием для передачи фототелеграмм телефонных каналов дальней связи и вытекающей из этого скорости передачи фототелеграмм. Отсюда следует, что для записи фототелеграмм магнитным методом могут быть использованы аппараты магнитной записи, рассчитанные на запись звукового диапазона частот, правда, с некоторыми конструктивными изменениями.

Магнитный метод переприема фототелеграмм обладает большими преимуществами по сравнению с оптическим методом. Малые щелевые и нелинейные искажения обеспечивают высококачественную передачу всех оттенков и деталей изображения. Возможность вести запись или воспроизведение на высоких скоростях позволяет перейти на работу с высокими скоростями передачи и обеспечить путем трансформации скоростей и спектров частот согласование различной фототелеграфной аппаратуры с широкополосными и узкополосными каналами связи.

Основным препятствием использования обычных магнитофонов для переприема является необходимость высокой степени синхронизации и поддержание высокого постоянства мгновенной и средней скорости носителя записи. Так, при допустимом перекосе изображения на 3 *мм* необходимо поддерживать среднюю скорость носителя записи с точностью до 0,001 %, что в 100 раз превышает стабильность скорости магнитофонов. Постоянство

мгновенной скорости носителя должно быть также весьма высоким, иначе горизонтальные линии изображения вместо прямых получаются зубчатыми. Указанные требования к аппарату магнитного переприема значительно усложняют его конструкцию и заставляют вводить в нее целый ряд синхронизирующих и стабилизирующих звеньев.

На рис. 35 приведена блок-схема магнитного переприема фототелеграмм.

Магнитный переприем может производиться на разных видах носителя записи: перфорированной ферромагнитной ленте, стандартной неперфорированной 6,35-*мм* ферромагнитной ленте, диске из ферромагнитного материала, ферромагнитном барабане, проволоке или широкой ферромагнитной ленте без перфорации.

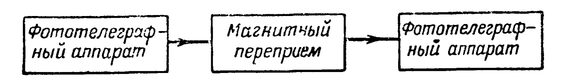


Рис. 35. Блок-схема магнитного переприема фототелеграмм.

Запись на носителе с перфорацией обеспечивает высокое постоянство средней скорости движения носителя (при условии стабильной скорости вращения двигателя). К недостаткам использования такого носителя следует отнести малую механическую прочность носителя (обрыв перфорации) и низкую стабильность мгновенной скорости, объясняющуюся деформацией носителя, которая приводит к изменению величины шага перфорации.

Запись на неперфорированный носитель не обеспечивает стабильности средней и мгновенной скорости носителя. Для поддержания достаточной стабильности этих скоростей вводятся специальные следящие устройства, которые в значительной мере усложняют аппаратуру магнитного переприема.

Один из недостатков указанных способов записи состоит в том, что запись адреса и номера фототелеграммы не может быть сделана видимой или легко определяемой, так как даже проявление рельефа ферромагнитной суспензией не позволяет прочесть адрес из-за того, что запись на ленте происходит в одну строку.

Запись в одну строку, расположенная вдоль ленты, не позволяет простыми средствами определить конец одной фототелеграммы и начало следующей. Это вызывает за-

труднения при автоматизации процессов сортировки фототелеграмм в транзитных пунктах и приводит к необходимости применения принципа потелеграммной передачи.

Более совершенные конструкции переприемных аппаратов строятся на принципе, допускающем поточную передачу серии фототелеграмм, направленных в различные адреса. Применение этого принципа повышает производительность труда операторов и увеличивает коэффициент использования каналов связи.

В качестве носителей записи в таких конструкциях аппаратов могут использоваться барабаны или широкие ленты в виде рулона, допускающие строчную запись, причем строки располагаются поперек направления движения носителя.

Диктующие машины

Особенности диктующих машин. Развитие диктующих машин (диктофонов) началось с момента зарождения магнитной записи. В настоящее время диктофоны находят все большее применение. Они являются незаменимыми для работы редакции газет, справочных бюро, метеорологических центров, лекционных залов и т. п.

Основное назначение диктофона — производить длительную запись речи с целью дальнейшей перезаписи на бумагу от руки или перепечатки на пишущей машинке.

Диктофон позволяет автоматизировать очень трудоемкий процесс стенографирования. В этом случае получается большая экономия времени как для диктующего, так и для машинистки, так как устраняются потери времени на ожидание и переспрос. Некоторые авторы исчисляют экономию времени при использовании диктофонов в 22% для диктующего и в 47% для машинистки. Возможность неоднократного прослушивания текста позволяет при записи или печатании речи с диктофона свести к минимуму смысловые ошибки, возникающие при расшифровке стенограммы. К тому же диктофон дает возможность определить по голосу автора текста, что в ряде случаев очень важно.

Использование стандартного магнитофона для записи и воспроизведения речи в качестве диктофона нецелесообразно, так как последний должен обладать особыми техническими и эксплуатационными характеристиками, определяемыми его целевым назначением. Основным требованием к диктофону является обеспечение хорошей артикуляции звуков при воспроизведении. Обычно к тракту маг-

нитной записи диктофона предъявляются сравнительно невысокие требования: полоса записываемых частот от 200 до 3 000 *гц*, динамический диапазон до 35 *дб*, коэффициент гармоник 10%, коэффициент детонации до 1%.

Средняя скорость нормальной разговорной речи составляет около 1,5—2,5 слова в секунду. Если слова будут воспроизводиться без пауз с такой скоростью, то естественно, что ни с помощью письма от руки, ни посредством пишущей машинки невозможно будет их зафиксировать на бумаге, так как скорость этих процессов в 4—5 раз ниже скорости речи. Поэтому в диктофоне должно быть предусмотрено специальное воспроизведение звуков с фонограммы, при котором возможно было бы успевать фиксировать диктовку. Непосредственное замедление скорости ленты при воспроизведении не решает задачи, так как с уменьшением скорости воспроизведения по сравнению со скоростью записи хотя бы в 2—3 раза резко ухудшается качество воспроизведения и снижается артикуляция до такой степени, что воспроизведенная речь становится непонятной.

Из анализа графической записи речи, произведенной на быстродействующем характериографе, видно, что слова речи произносятся не непрерывно, а отдельными группами от 2 до 15 слов в каждой, причем между группами имеются паузы длительностью до 2 *сек*. Использование этих пауз и лежит в основе диктофонов. Воспроизводя речевую фонограмму с перерывами, мы тем самым приближаем процесс воспроизведения к обычной диктовке. Между паузами скорость движения фонограммы остается нормальной, что обеспечивает высокую артикуляцию воспроизведения.

Диктофоны, построенные на принципе остановки движения магнитной ленты в паузах, выполняются с ручным или педальным управлением, полуавтоматическими или полностью автоматическими. В некоторых видах диктофонов предусматривается сочетание этих типов управления.

При осуществлении ручного или педального управления диктофоном машинистка производит следующие операции: включает лентопротяжный механизм, прослушивает часть записи и после этого останавливает механизм, записывает прослушанный текст на машинке, а в случае необходимости возвращает носитель записи обратно и повторяет воспроизведение; затем вновь включает механизм и прослушивает следующий участок записи. Необходимость повторения отдельных участков записи заставляет вводить в конструкцию лентопротяжного механизма диктофона

устройства для ускоренного продвижения носителя записи в прямом и обратном направлении, причем соотношение скоростей нормального и ускоренного движения носителя записи составляет 20—30.

Управление диктофоном лучше всего производить на расстоянии: при записи — с выносного пульта, иногда совмещенного с микрофоном, а при воспроизведении — с помощью специального блока управления, смонтированного на столе машинистки или непосредственно в пишущей машинке.

Диктофон работает в режиме повторного пуска и остановки. В таких условиях работы возможны искажения начала и конца каждой из групп слов. Для того чтобы избежать этих искажений, необходимо обеспечить практически безынерционный пуск и остановку носителя записи. Время набора и потери скорости в начале и конце каждой группы слов должно быть не более 0,1 *сек.*

Для упрощения и облегчения работы машинистки и повышения эффективности ее труда вводят полуавтоматическую или автоматическую работу диктофона.

При полуавтоматической работе диктофона пуск лентопротяжного механизма происходит путем нажатия пусковой кнопки или педали, а остановка осуществляется автоматически. Лента двигается до тех пор, пока не наступит пауза в воспроизводимой речи. После записи продиктованной группы слов машинистка нажимает кнопку или педаль пуска и лента опять двигается до очередной паузы. Так происходит диктовка при полуавтоматической работе диктофона.

При автоматической работе диктофона пуск и остановка лентопротяжного механизма как при записи, так и при воспроизведении осуществляется автоматически. Управление записью происходит с помощью специального автомата записи, который пускает лентопротяжный механизм при появлении входного сигнала и останавливает, когда длительность паузы превышает определенный промежуток времени.

Управление воспроизведением происходит с помощью автомата воспроизведения, который останавливает лентопротяжный механизм после воспроизведения первой группы слов с приходом паузы и через определенный промежуток времени (время паузы) пускает его для воспроизведения следующей группы слов с остановкой при приходе очередной паузы. Автомат действует так, что время паузы опре-

деляется длительностью воспроизведения группы слов: чем больше слов было воспроизведено, тем длительнее будет пауза.

Запись в диктофонах обычно происходит в условиях изменения уровня входного сигнала, так как диктующие могут находиться на различном расстоянии от микрофона (например, при записи заседаний), говорить с неодинаковой громкостью и т. п. Для создания постоянного уровня записи в диктофонах предусматривают автоматическую регулировку усиления (АРУ) усилителя записи. Глубина регулировки АРУ усилителя записи выбирается такой, что при изменении уровня входного сигнала, например, на $\pm$ 20 *дб* уровень намагниченности носителя записи изменяется не более чем на $\pm$ 3 *дб*. Для обеспечения такой глубины регулировки АРУ в первом каскаде усилителя записи используют лампу с переменной крутизной. Управляющее напряжение подается с помощью детектора, связанного с выходом усилителя.

Типы диктующих машин. Диктофоны классифицируются по виду носителя записи. В качестве последнего могут использоваться диск, лист, проволока или лента.

Диктофоны с дисковым звуконосителем просты по устройству и очень удобны в эксплуатации. Механизм вращения диска подобен механизму обычного электропроигрывателя. Дисковый носитель записи менее подвержен механическим воздействиям, чем лента, что обеспечивает надежную сохранность записи. При использовании диска отсутствует процесс обратной перемотки и в случае необходимости повторения воспроизведения тонарм с магнитной головкой переводится к началу записи при нажатии, например, специальной кнопки.

Дисковый звуконоситель имеет бумажную или пластическую основу, на которую тонким слоем наносится ферромагнитное покрытие. Иногда диски прессуются из пластмассы, смешанной с ферромагнитным порошком. Звуковая дорожка располагается по спирали на одной стороне диска или на его обеих сторонах.

Диски бывают с гладкой поверхностью и со спиральной канавкой. Запись на гладкие диски производится с помощью специального смещающего устройства, которое в простейшем случае представляет собой центральную шайбу, прижимающую магнитный диск. На шайбе имеется спиральная канавка, по которой движется игла, жестко

связанная с тонармом. Магнитная головка, укрепленная на тонарме, при вращении диска копирует движение направляющей иглы и наносит на поверхность диска спиральную магнитную дорожку. Для записи и воспроизведения используется одна универсальная головка.

При записи на диске со спиральной канавкой магнитная головка подобно граммофонной игле двигается по дну канавки (рис. 36). Необходимо отметить, что полюсный наконечник магнитной головки через некоторое время стирается. Поэтому он делается сменным и через определенное время заменяется новым. Средняя продолжительность работы наконечника около 100 *ч*.

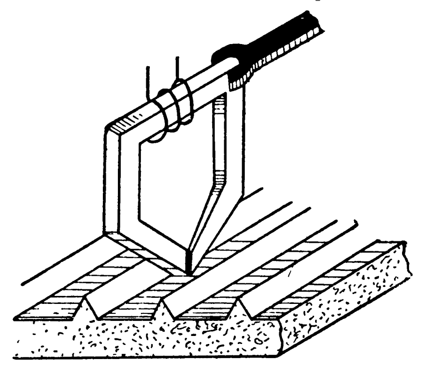


Рис. 36. Запись по дну канавки ферромагнитного диска.

Стирание записи производится на всем носителе одновременно с помощью магнита. Это не всегда удобно, так как нередко требуется произвести стирание только отдельного участка записи. В этом случае обычно используют диски с другим видом поверхности (рис. 37), что позволяет устанавливать на тонарме дополнительную стирающую головку. Звуковая дорожка наносится на внешнюю поверхность диска, ограниченную канавками. Перемещение головки в радиальном направлении осуществляется направляющей иглой, механически связанной с головкой. Игла, двигаясь по спиральной канавке, смещается в радиальном направлении, увлекая головку.

В качестве примера диктофона с дисковым звуконосителем приведем описание диктовального аппарата НДД-54 отечественной разработки. Емкость записи на одной стороне его диска составляет 20 *мин*. Он обеспечивает запись полосы частот 300—3 000 *гц* при динамическом диапазоне не менее 30 *дб*.

Аппарат выполнен в виде чемодана размерами 390 × × 360 × 190 *мм*. В чемодане смонтированы механизм вращения диска, усилитель записи-воспроизведения, магнитная головка с держателем, размагничивающий дроссель,

динамический громкоговоритель и другие узлы. Для записи и воспроизведения используются общий усилитель и одна универсальная головка. Стирание старых записей производится специальным размагничивающим дросселем.

В качестве звуконосителя используется диск, имеющий спиральную канавку. Воспроизведение записи осуществляется на громкоговоритель или головной телефон. При воспроизведении записи можно с помощью ножной педали производить почти мгновенную остановку и пуск ферромагнитного диска, а также перевод магнитной головки на предыдущие звуковые дорожки при необходимости повторения воспроизведения. В аппарате имеется автоматическая регулировка уровня записи, обеспечивающая изменение уровня не более чем на $+3$ *дб* при увеличении уровня входного сигнала на $+20$ *дб*.

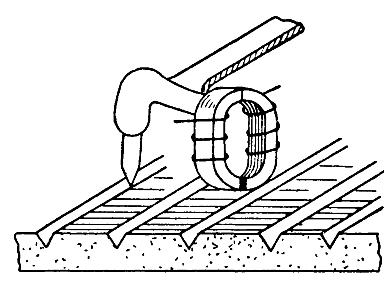


Рис. 37. Запись на внешней стороне диска с направляющей иглой.

Для устранения изменения частотной характеристики аппарата при движении магнитной головки к центру диска вводится переменная коррекция, которая механически связана с осью держателя магнитной головки.

При записи за 30—35 *сек* до конца одной стороны диска включается тональный сигнал, предупреждающий об этом.

Диктофоны с проволочным звуконосителем исторически начали развиваться раньше других видов диктофонов. В современных диктофонах проволочный звуконоситель применяют в тех случаях, когда необходимо добиться большой емкости аппарата при малых габаритах (рис. 38). В качестве звуконосителя используется стальная или бронзовая проволока диаметром 0,05—0,1 *мм*, на которую наносится ферромагнитный сплав. При скорости движения проволоки около 600 *мм/сек* и диаметре кассет 75 *мм* можно записать часовую программу.

Кассеты с проволокой могут меняться в диктофоне как по отдельности, так и вместе, если их поместить в съемный магазин. Такое устройство очень удобно, так как замена магазина занимает всего несколько секунд.

В качестве примера диктофона с проволочным звуконосителем приведем описание зарубежного (ФРГ) аппарата типа «Минифон».

Аппарат представляет собой портативное записывающее устройство. Емкость записи зависит от типа используемой катушки с звуконосителем и достигает 5 *ч*. Питание «Минифона» осуществляется либо от электросети, либо от специальных батарей. В последнем случае запись возможно производить в любое время и в любом месте, что делает «Минифон» незаменимым в условиях записи в местах, где нет источников переменного тока.

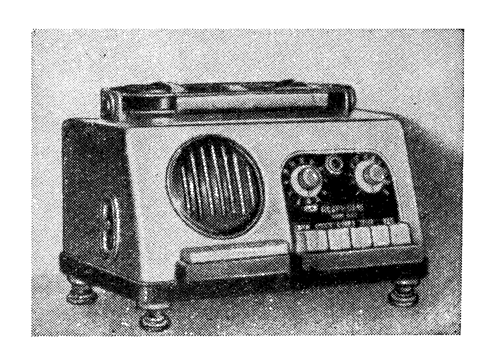


Рис. 38. Диктофон с проволочным звуконосителем.

«Минифон» является универсальным записывающим аппаратом. К нему имеются специальные микрофонные приставки, дающие возможность производить запись музыки, докладов, лекций, двусторонних телефонных разговоров, записывать диктовку, производить запись в условиях помех и шумов.

Например, при записи докладов на расстоянии 8—10 *м* пользуются кристаллическим микрофоном, обладающим высокой чувствительностью. При необходимости записи речи только одного человека во время разговора с несколькими лицами используется высокочувствительный кристаллический микрофон, обладающий направленным действием. В условиях посторонних шумов, например при диктовке в автомобиле, вагоне, самолете, при записи репортажа со стадиона, применяется специальный гортанный микрофон.

При использовании «Минифона» в качестве диктующего аппарата для управления его работой имеются электрический (с помощью которого можно также управлять работой аппарата и на расстоянии) и механический выключатели. С помощью этих выключателей машинистка может согласовывать темп диктовки со скоростью печатания. Для контроля времени записи и выборки определенного участка записи имеется специальное устройство, при помощи которого машинистка может повторно находить любой участок записи.

Процесс ускоренной перемотки звуконосителя в прямом и обратном направлении осуществляется со скоростью в 2,5 раза быстрее, чем скорость записи.

Диктофоны с ферромагнитной лентой получили наиболее широкое распространение. Они обеспечивают продолжительную запись и по своему устройству мало отличаются от стандартных магнитофонов. Правда, некоторые особенности работы диктофонов заставляют вводить в конструкцию магнитофона отдельные дополнительные устройства.

Для облегчения старт-стопной работы ведущая ось диктофона вращается постоянно, а движение и остановка ленты обеспечиваются с помощью обрезиненного ролика, управляемого электромагнитом. При движении ленты ролик прижимает ее к ведущей оси, а при необходимости остановки ленты ролик отходит от оси.

Повторение воспроизведенных слов осуществляется либо кратковременным включением обратной перемотки ленты путем вращения левой кассеты диктофона, либо изменением направления вращения ведущей оси при введении в действие паразитного ролика.

Введение дистанционного управления вызывает необходимость включения в схему диктофона устройств автоматической остановки лентопротяжного механизма при обрыве ленты или перемотке ее с одной кассеты на другую, устройств для дистанционного отсчета времени звучания и ряда цепей сигнализации.

Стирание ненужной записи может производиться сразу со всего рулона ленты специальным ручным электромагнитом, который питается от сети переменного тока, а при малых размерах рулона — таким же электромагнитом, но расположенным в самом аппарате под левой кассетой. В процессе самой записи стирание производится так же, как и в стандартных магнитофонах.

Обычно при использовании в диктофоне ферромагнитной ленты в качестве звуконосителя запись производится на две или более дорожек. Это значительно повышает емкость диктофона без увеличения его габаритов.

Примером диктофона с ферромагнитным листом является малогабаритный диктовальный аппарат магнитной записи «Ультравокс» (Швейцария). Он предназначен для записи речи на магнитную пленку размером в стандартный лист (290×210 *мм*). Магнитный лист закладывается в аппарат и наматывается на барабан из легкого сплава, покрытый твердой резиной. Барабан связан с ведущим двигателем через редуктор. Скорость вращения барабана 20 *об/мин*, линейная скорость носителя записи 92 *мм/сек*, емкость записи 10 *мин*. При воспроизведении машинистка управляет работой диктофона при помощи двух педалей.

Во время записи и воспроизведения головка движется по специальному винту вдоль образующей барабана. При подходе каретки головки в крайнее правое положение относительно барабана она включает контакт, замыкающий цепь зуммера, который дает сигнал о конце пленки (за 15 *сек* до окончания).

Стирание произведенных записей производится постоянным магнитом.

Габариты диктовального аппарата 290×365×100 *мм*.

Применение в телефонии

В последние годы магнитная запись начинает широко применяться в телефонии. Ее использование происходит в основном по трем направлениям: 1) для записи нерегулярных телефонных вызовов; 2) для записи сообщений, которые передаются регулярно; 3) для передачи письменных сообщений, которые в настоящее время передаются либо авиапочтой, либо по телеграфу.

В первых двух случаях к аппаратуре предъявляются сравнительно невысокие требования с точки зрения исполнения и действия. При этом решающее значение имеет экономический фактор.

В третьем случае при передаче сообщений основное внимание уделяется точности передачи. При этом нужно учесть, что адресат, находящийся далеко от места передачи, может быть незнаком с темой передачи, и в случае неточной передачи депеша может быть неправильно им понята. Поэтому при использовании магнитной записи в те-

лефонии стремятся каким-то образом автоматически скорректировать погрешности, вносимые линиями передач.

Высокая эффективность использования аппаратов магнитной записи в сочетании с телефоном достигается в том случае, когда эти аппараты, называемые диктофонами, сконцентрированы в специальном бюро и ими могут пользоваться телефонные абоненты, входящие в общую телефонную сеть. В США, например, разработана специальная установка, позволяющая абоненту через свой телефонный аппарат абонировать один из свободных диктофонов бюро набором определенного номера. Если свободных диктофонов нет, то в телефоне слышится сигнал занятости. После абонирования и до отбоя диктофон находится в распоряжении только данного абонента и управление им производится набором однозначных цифр, определяющих пять видов работы диктофона; *1* — пуск и остановка диктофона; *2* — знак поправки без остановки диктофона; *3* — обратный ход; *4* — знак окончания одного из сообщений; 0 — разговор с другим абонентом без отключения от диктофона.

Оригинальное применение находит магнитная запись в отвечающем телефоне — устройстве, которое может быть использовано для записи регулярных или случайных сообщений при отсутствии абонента. Это устройство состоит из телефона, магнитофона и блока управления. К телефону добавляются катушки связи и реле, управляющее прерывателем телефонного аппарата.

Соединение телефона и магнитофона с блоком управления показано на рис. 39. Блок управления включает в себя бесконечную петлю магнитной ленты *4* длиной около 7 *м,* которая приводится в движение ведущим двигателем *1*, несколько вращающихся направляющих роликов *5*, механический спаренный контакт *3*, срабатывающий через отверстия, пробитые в ленте, и воспроизводящую головку *ГВ*.

Кроме того, имеются силовой трансформатор *Тр*, два реле $Р_1$ и $Р_2$, шаговый искатель $Р_3$ и ручной двухплатный переключатель *П* на три положения. Скорость движения бесконечной петли равна примерно 95,3 *мм/сек*, время проигрывания составляет 70 *сек*.

В месте стыка и на расстоянии 95,3 *см* от него на ленте пробиты небольшие отверстия, через которые срабатывают спаренный контакт конечного выключателя (контакт осуществляется между бериллиевой контактной пружиной и

роликом). Когда лента неподвижна, то стык на ней находится как раз после конечного выключателя.

При подготовке устройства к работе магнитофон, катушку связи и реле телефона соединяют с блоком управления. Магнитофон ставят в режим записи, а блок управления — в положение «Автоматическое» (включение магнитофона на рис. 39 не показано).

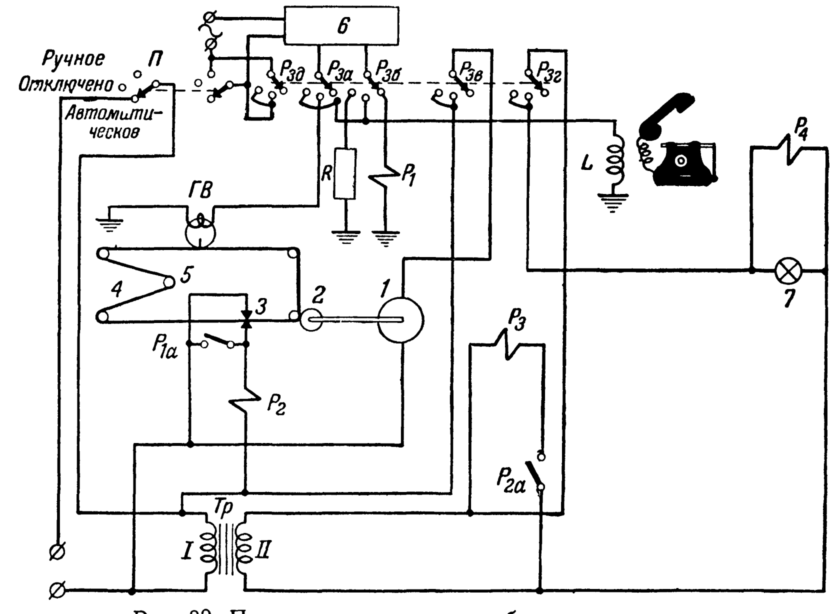


Рис. 39. Принципиальная схема блока управления.

1 — ведущий электродвигатель; *2* — ведущая насадка; *3* — спаренный механический контакт; *4* — магнитная лента; *5* — направляющий ролик; *6* — магнитофон; *7* — индикатор.

При телефонном звонке вызывной ток индуктирует в катушке связи напряжение, которое подается через контакт искателя $P_{3а}$ на вход магнитофона *6*. В усилителе записи магнитофона напряжение усиливается и через контакт $P_{3б}$ поступает на обмотку реле P_1. Последнее срабатывает и через свой контакт $P_{1а}$ подает питание на обмотку реле P_2, которое замыкает контакт $P_{2а}$ в цепи катушки шагового искателя P_3. Щетка шагового искателя при этом переходит из положения *1* в положение *2*. От вторичной обмотки *II* трансформатора *Тр* через контакт $P_{3г}$

получает питание реле телефона P_4, которое притягивает свой якорь, тем самым отпуская прерыватель телефона.

В тот же момент загорается индикаторная лампочка *7*. Реле P_1 обесточивается (так как щетка находится в положении *2*) и размыкает цепь питания реле P_2. Одновременно через контакт $P_{3в}$ получает питание ведущий электродвигатель *1*, приводящий в движение ленту. Воспроизводящая головка *ГВ* через контакт $P_{3а}$ соединяется с входом усилителя записи магнитофона, а катушка связи L соединяется с выходом через контакт $P_{3б}$. Через контакт $P_{3д}$ пускается лентопротяжный механизм магнитофона. Первые 10 *сек* на магнитофоне будет записана просьба к вызывающему продиктовать сообщение. По истечении этого срока срабатывает механический контакт через первое отверстие в ленте, одновременно подается питание на реле P_2, а следовательно, получает питание обмотка искателя P_3 и щетка переходит в положение *3*.

В этом положении катушка связи телефона отключается от выхода усилителя записи магнитофона и подсоединяется к его входу через контакт $P_{3а}$. Выход магнитофона подключается к балластному сопротивлению R. Любое сообщение от вызывающего принимается теперь катушкой связи и записывается на магнитофоне.

В конце минуты петля в блоке управления совершит полный цикл вращения. Тогда через второе отверстие в ленте сработает механический контакт, реле P_2 получит питание и замкнет свой нормально открытый контакт в цепи искателя. Щетка искателя при этом вернется в исходное положение *1*, реле P_4 отпустит свой якорь и замкнет прерыватель телефона. Цепь вызова разорвется и аппарат будет готов к следующим вызовам.

По возвращении абонент может воспроизвести запись и услышать сообщения от нескольких вызывавших лиц. Для контроля числа записанных сообщений можно соединить шаговый искатель со счетчиком.

В том случае, когда переключатель стоит в положении «Ручное», блок управления не действует. При этих условиях телефон можно использовать по прямому назначению и одновременно производить запись двусторонних сообщений на магнитофон. Для этого необходимо лишь от телефона отсоединить реле, удерживающее прерыватель, и подключить телефонную трубку.

Рассмотренное устройство можно применять для записи таких сообщений, как прогноз погоды, сообщение точного времени, запись различных коротких справок и т. д. Особенно выгодно использовать подобные устройства в тех случаях, когда обслуживание нескольких телефонов осуществляется одним человеком.

Большое применение магнитофон в сочетании с телефоном может найти на железных дорогах. Такой аппарат (так называемый «накопитель разговоров») дает возможность вести автоматическую запись разговоров между диспетчерами станций в течение нескольких часов.

В одном из применяющихся за рубежом (ГДР) аппаратов запись ведется на две дорожки, причем переключение дорожек происходит автоматически через каждые 1,5 *ч*. По мере продолжения записи ее начало автоматически стирается, так что на ленте остается запись разговоров только за последние 3 *ч*.

Металлический кожух охраняет магнитную ленту, которая после записи представляет собой контрольный документ. При повреждении магнитофона или обрыве ленты возможность ведения переговоров немедленно прекращается. Прерванная связь восстанавливается поворотом специального рычага, находящегося при нормальной работе под пломбой. При этом загорается сигнальная лампочка, а прибор работает как телефонный аппарат системы МБ (местная батарея).

Для воспроизведения записи служит переносный магнитофон.

Глава седьмая

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Первые предложения о возможности использования явления остаточного намагничивания для магнитной записи изображения появились в начале XX в. Так, например, предлагалось производить запись неподвижного изображения путем воздействия на вращающийся барабан, плотно обмотанный стальной проволокой, полем электромагнита. Для того чтобы полученное таким путем изображение стало видимым, необходимо было обсыпать барабан тонким магнитным порошком, который, оседая на намагниченных участках проволоки, позволял бы «проявить» записанное изображение. Подобные идеи не получили тогда практи-

ческой реализации, так как в то время еще не было достаточного опыта в области магнитной записи электрических сигналов.

Громадный скачок, который совершила за последние два десятилетия техника записи звука, создал реальные предпосылки для продолжения исследований и создания практических систем магнитной записи изображения. За последние годы появилось много предложений по техническому решению отдельных элементов систем магнитной записи изображения, а также продолжаются исследования по дальнейшему упрощению и улучшению аппаратуры. Необходимо отметить, что аппаратура, предназначенная для магнитной записи изображений, остается все еще довольно сложной и дорогостоящей. Тем не менне в настоящее время проблему магнитной записи движущегося изображения можно считать в основном решенной.

Магнитный метод записи изображения имеет большие преимущества перед другими методами. В этом случае отпадает необходимость в процессах фотообработки и фотокопировки. Так как изображение записывается в виде электрического сигнала, то это дает возможность осуществить контроль записи, воспроизводя ее немедленно с магнитной ленты на экране кинескопа.

Записанное изображение можно транслировать по линиям связи, например из центральной студии передавать программу в специальные телекинотеатры. Особенно это важно при передаче телевизионных программ в пункты с различным поясным временем, например при передаче последних известий.

Требования, предъявляемые к элементам тракта магнитной записи

В вопросе записи изображения на магнитную ленту различают две технические проблемы: запись-воспроизведение неподвижных и запись-воспроизведение движущихся изображений. В решении этих проблем есть много общего: как в том, так и в другом случае необходима жесткая синхронизация движения носителя записи (стр. 63), что предъявляет определенные требования к лентопротяжному механизму; при условии высоких требований к плотности записи в обоих случаях большое значение приобретает качество носителя записи.

Основное различие в записи на магнитную ленту неподвижных и движущихся изображений заключается в том, что в последнем случае требуется значительно бо́льшая полоса частот (до 5 *Мгц*), а это связано с большими трудностями.

Для передачи одного неподвижного изображения при его разложении, например на 625 строк, необходимо передать 534 500 элементов. Если записывать это изображение поэлементно на магнитную ленту, то нужно записать 534 500 колебаний. Для этого при скорости движения ленты 9,5 *см/сек* потребуется около 33 *сек* и 3,2 *м* ленты.

В случае записи движущихся изображений при передаче сигналов по одному каналу при удовлетворительном качестве получаемого изображения необходимо записать и воспроизвести полосу частот от 50 *гц* до 3—5 *Мгц*. Такой широкий диапазон частот требует нового подхода к разработке элементов тракта магнитной записи. Если усиление и передача по линиях связи частоты в несколько мегагерц в настоящее время не является сложной задачей, то при создании специальных магнитных головок, новых типов носителей записи и высокоскоростных лентопротяжных механизмов возникают серьезные технические трудности.

Магнитные головки. Из теории и практики магнитной записи звука известно, что минимальные длины волн, которые возможно записать при данной скорости движения ленты, определяются в основном разрешающей способностью магнитных головок.

Если принять скорость движения ленты, например, 381 *мм/сек* и записывать полосу частот до 10 *кгц*, то наименьшая длина волны на ленте будет порядка 38 *мк*. Если бы мы захотели сохранить эту же минимальную длину волны на ленте при магнитной записи движущихся изображений с диапазоном частот до 3,5—5 *Мгц*, то пришлось бы увеличить скорость ленты в 400 раз, т. е. до 140 *м/сек*. Это следует из известной зависимости $\lambda = v/f$, где λ — длина волны записанных колебаний, f — частота колебаний и v — скорость движения носителя записи.

Такая скорость практически почти неосуществима, но если бы даже ее можно было осуществить, то при этих условиях произошло бы быстрое стирание поверхности носителя записи и магнитных головок.

Для снижения скорости движения носителя до приемлемой величины (5—10 *м/сек*) в системах записи изобра-

жения применяются магнитные головки, разрешающая способность которых увеличена в 5—10 раз (2 *кгц* при скорости 10 *мм/сек*). Соответственно с этим меняются и требования, предъявляемые к магнитным головкам с точки зрения их геометрии и частотных характеристик. Магнитный сердечник таких головок должен изготавливаться из материала, обладающего высокой магнитной проницаемостью во всем диапазоне записываемых частот. Он должен иметь малую электропроводность, что необходимо для уменьшения потерь на вихревые токи. Сами магнитные головки должны быть небольшими по габаритам и стойкими к изменениям температуры, влажности и к абразивному действию ленты. Обмотки головок должны обладать вполне определенным полным сопротивлением и не иметь резонансов во всем диапазоне записываемых частот.

Хорошим материалом, удовлетворяющим всем этим требованиям, являются ферриты (например никельцинковые ферриты НЦ-2000). С одной стороны, они обладают очень малой электропроводностью (10^{-2}—10^{-6} *ом · см*), что сводит к минимуму потери на вихревые токи, а с другой стороны, их магнитная проницаемость остается в достаточной мере постоянной во всем диапазоне записываемых частот.

Ферритовые головки делаются составными. Сердечник головки изготавливается из феррита, а полюсный наконечник — из материала (например, альфенола), который тоже имеет большое электрическое сопротивление, но, кроме того, хорошо отшлифовывается при эксплуатации. Такая конструкция головок вызвана тем, что ферриты имеют зернистую структуру, очень хрупки и поэтому без специального полюсного наконечника трудно создать рабочий зазор определенной ширины. В ферритовой головке величина зазора между полюсными наконечниками определяется слоем окиси кремния, наносимого в вакууме.

Лентопротяжный механизм. Большое значение при магнитном методе записи изображения имеет постоянство скорости движения носителя записи. Всякие колебания скорости как при записи, так и при воспроизведении будут вызывать паразитные изменения фазы составляющих воспроизводимого сигнала. Поэтому степень постоянства скорости должна быть очень высокой. Так, например, по данным американской фирмы RCA мгновенное изменение скорости на одну миллионную часть от номинала вызывает сдвиг элементов изображения на величи-

пу порядка 5 *мм* при воспроизведении изображения с ленты на кинескоп диаметром 30 *см*.

Необходимая стабильность скорости движения носителя записи определяет жесткие требования к характеристикам лентопротяжного механизма и всей системы в целом. Все узлы лентопротяжного механизма должны быть изготовлены по высокому классу точности, причем необходимо предусматривать тщательную статическую и динамическую балансировки. Кассеты, в которых содержится лента, должны иметь малую инерцию, иначе при пуске и остановке будут возникать мгновенные усилия на ленту, что может привести к ее обрыву.

Носитель записи. Магнитные характеристики лент, употребляемых при записи изображения, должны быть значительно выше, чем у лент, применяемых для записи звука. Тщательной полировкой поверхности носителя добиваются не только улучшения контакта между лентой и магнитными головками, но и значительного снижения абразивного воздействия ленты.

Для систем записи изображения на магнитную ленту характерна высокая плотность записи. Так, например, в американской системе RCA запись одного элемента телевизионного изображения занимает отрезок ленты длиной всего около 5,5 *мк*. Отсюда следует, что к однородности магнитной ленты необходимо предъявлять чрезвычайно высокие требования.

Магнитная лента, применяемая для записи изображения, должна выдерживать многократную эксплуатацию (по крайней мере до 100 раз) без заметного снижения ее механических и магнитных свойств.

Методы записи изображения на магнитную ленту

В настоящее время определились следующие направления в решении вопроса магнитной записи телевизионных изображений:

1. Методы прямой записи, основанные на непосредственной записи сигналов изображения на магнитную ленту без каких-либо существенных преобразований записываемого сигнала или процесса записи. Для прямой записи характерна высокая скорость движения носителя записи.

2. Методы, основанные на применении так называемой строчной записи (поперечно-строчные системы записи), при которой запись производится поперек ленты с по-

мощью вращающихся головок. В этом случае скорость движения головок относительно магнитной ленты является высокой, а скорость движения самой ленты невысока. Таким образом, вследствие вращения головок относительная скорость записи оказывается вполне достаточной для записи полосы частот порядка 5 *Мгц*.

3. Методы, основанные на разделении передаваемого частотного диапазона на ряд более узких диапазонов, осуществляемом, например, при помощи специальных полосовых фильтров. Сюда же следует отнести системы, в которых число записывающих головок равно числу элементов в одной строке записываемого изображения.

Основная трудность в этих системах (их можно назвать системами продольно-строчной записи) состоит в том, что необходимо не только разделить весь частотный диапазон на ряд узких диапазонов, но и преобразовать эти узкополосные диапазоны в диапазоны с более низкой частотой, а при воспроизведении вновь восстановить первоначальный сигнал с теми же фазовыми соотношениями между его составляющими, которые были до преобразования.

4. Методы, основанные на использовании теории информации. Например, использование корреляционных сигналов, дающих поправки от кадра к кадру в соответствии с изменениями, которые произошли в кадре за время его передачи. Трудность при этом заключается в передаче исходного изображения.

На использовании теории информации основаны также предложения, заключающиеся в том, что изображение передается путем «предсказания» последующих точек изображения на основании предыдущих. Для передачи движущихся изображений достаточно передавать только поправки к «предсказаниям».

Системы прямой записи

Система записи телевизионного изображения американской фирмы RCA. Система записи и воспроизведения телевизионных сигналов с помощью магнитной ленты демонстрировалась фирмой RCA в декабре 1953 г. Было разработано два варианта. Один вариант системы обеспечивал запись черно-белого изображения на двух магнитных дорожках (первая для записи видеосигналов, вторая для записи звукового сопровождения). Запись производилась на ленту шириной около

6,35 *мм*. Скорость движения носителя записи была 10 *м/сек*.

Система во втором варианте предназначалась для записи и воспроизведения сигналов цветного изображения. Запись производилась на пяти магнитных дорожках: три дорожки видеосигналов (красный, зеленый и синий цвета разложения), одна дорожка синхронизации и одна звуковая дорожка. Изображение записывалось на магнитную ленту шириной около 13 *мм*.

В обоих вариантах диапазон записываемых частот составлял около 3,5 *Мгц*, а аппаратура была рассчитана на запись программы в течение 15 *мин*.

В дальнейшем аппаратура была подвергнута существенным изменениям. В систему был введен дополнительный канал записи высокочастотных составляющих видеосигналов, повышена разрешающая способность магнитных головок, улучшена следящая система, обеспечивающая высокостабильную скорость движения ленты. Все это дало возможность снизить скорость движения ленты до 6,6 *м/сек*.

Остановимся более подробно на последней системе записи сигналов цветного изображения на магнитную ленту, созданной фирмой RCA в 1956 г. Внешний вид системы представлен на рис. 40, а на рис. 41 показана ее блок-схема.

При записи сигналы цветного изображения подаются на блок расшифровки *1*, которые раскладывает их на составляющие (красный, зеленый, синий и сигналы синхронизации). С выхода блока расшифровки сигналы синхронизации поступают на электронную схему *2*, которая выделяет из них импульсы синхронизации по строкам. Отметим, что для упрощения аппаратуры в системе основное внимание уделяется синхронизации по строкам, а кадровая синхронизация устанавливается ручной регулировкой.

Сигналы синхронизации по строкам одновременно с составляющими цвета поступают на вход специального электронного устройства *3*, которое выполняет следующие три функции: 1) разделяет частотный диапазон составляющих сигналов на диапазон до 1,5 *Мгц* и выше этого; 2) регулирует величину тока подмагничивания записывающих головок; 3) смешивает сигналы синего, красного и зеленого цветов, лежащие в диапазоне частот выше 1,5 *Мгц*, в один монохроматический сигнал.

Сигналы красный, зеленый, синий, смешанный высокочастотный и синхронизации после специальных усилительных устройств *7* поступают на пятиканальную записывающую головку *8* и записываются на магнитную ленту шириной около 13 *мм*.

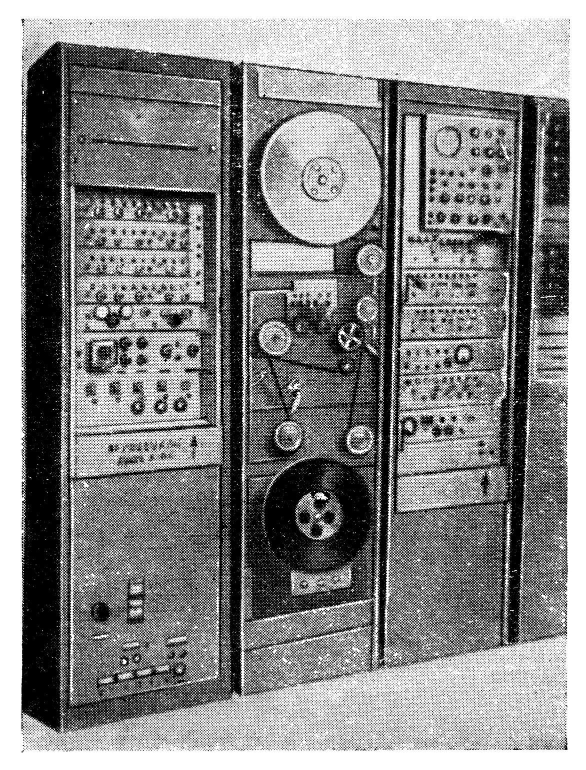


Рис. 40. Система магнитной записи изображения фирмы RCA.

Известно, что при записи звука для линеаризации зависимости остаточной намагниченности ленты от напряженности намагничивающего поля записывающая головка питается дополнительным ультразвуковым током подмагничивания, частота которого в несколько раз выше наибольшей из записываемых частот. При записи изображения нельзя пойти по тому же пути, так как в этом случае

частота тока подмагничивания должна составлять несколько десятков мегагерц.

Подготовка носителя к записи в системе RCA производится путем его предварительного намагничивания до на-

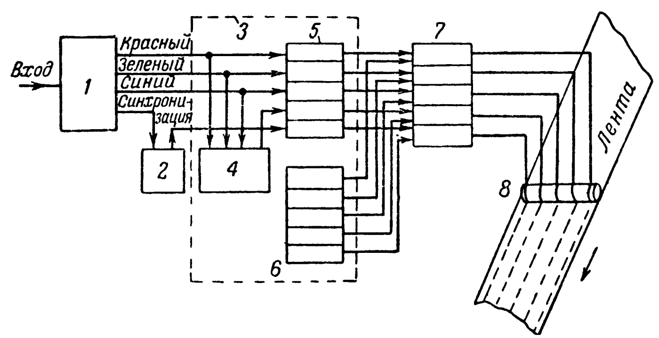


Рис. 41. Блок-схема записи системы RCA.

1 — дешифратор; 2 — блок выделения импульсов синхронизации по строкам; 3 — электронное устройство; 4 — блок отбора высокочастотных составляющих; 5 — компенсация и корректировка фазы составляющих разложения; 6 — регулировка тока подмагничивания; 7 — усилитель записи; 8 — пятиканальная записывающая головка.

сыщения постоянным током головки стирания. Запись происходит при подмагничивании головки постоянным током, причем рабочая точка A_1 выбирается в нижней части кривой намагничивания и соответствует уровню черного (рис. 42).

В таком режиме производится запись сигналов с частотой до 1,5 *Мгц* (ток подмагничивания около 2 *ма*). Головка, записывающая на ленту монохроматический сигнал 1,5—3,5 *Мгц*, работает без дополнительного подмагничивания. Отдача головки, работающей в таком режиме, сильно зависит от частоты: при изменении частоты от 1 до 3,5 *Мгц* спад по напряжению достигает 15 *дб*.

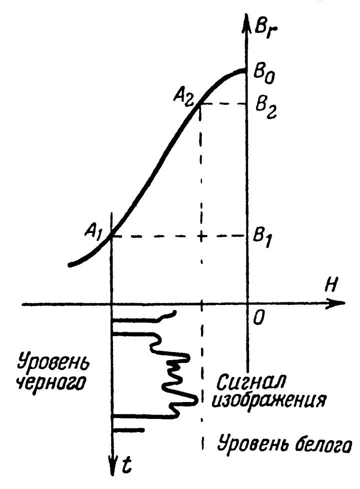


Рис. 42. Запись видеосигналов на магнитную ленту.

В системе RCA запись звука на ленту производится ли-

бо методом частотной модуляции при частоте несущей 90 *кгц* и ее девиации ± 15 *кгц*, либо с помощью амплитудной модуляции двух несущих частот. Необходимость введения модуляции с целью улучшения отношения сигнала к шуму и уменьшения коэффициента нелинейных искажений вызвана тем, что из-за большой скорости движения ленты получаются очень большие длины волн низких частот (например, при частоте 40 *гц* длина волны около 150 *мм*) и поэтому воспроизведение таких сигналов затруднительно.

Дорожки, на которых записаны сигналы изображения и звука, разделены полоской около 0,2 *мм*. Таким образом, все цветное изображение записывается по шести каналам записи на магнитную ленту.

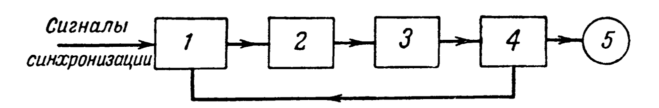


Рис. 43. Система контроля скорости записи.

1 — фазовый дискриминатор; *2* — усилитель; *3* — индукционный тормоз; *4* — тональный генератор; *5* — ведущий электродвигатель.

Скорость движения ленты поддерживается постоянной с помощью специальной следящей системы записи (рис. 43). Сигнал, необходимый для контроля скорости, снимается с тонального генератора *4* (фоническое колесо), сидящего на валу ведущего двигателя *5*. Сигналы от генератора и синхронизирующие сигналы поступают на вход фазового дискриминатора *1*. Если ведущий вал вращается с нормальной скоростью, то фазы обоих сигналов совпадают и сигнал ошибки на выходе дискриминатора равен нулю. При возникновении колебаний в системе на выходе дискриминатора появляется сигнал ошибки, который после усиления в усилителе *2* воздействует на индукционный тормоз *3*, восстанавливающий номинальную скорость вращения ведущего двигателя, а следовательно, и скорость движения ленты при записи.

Большие искажения в записанный сигнал будут вносить любые нежелательные колебания величины натяжения носителя записи. По воздействию на записанный сигнал изменение натяжения носителя равноценно изменению скорости транспортировки. К тому же изменение натяжения

ленты вызывает переменный контакт между магнитными головками и лентой.

В устройстве контроля натяжения ленты (рис. 44) заслонка *5*, укрепленная на конце рычага *3*, регулирует световой поток от источника света *8* к фотоэлементу *9*. При изменении на некоторый угол положения рычага выходной ток фотоэлемента (сигнал ошибки) характеризует изменение натяжения. Этот сигнал подается на обмотку индукционного тормоза *2*, который регулирует момент двигателя *1*.

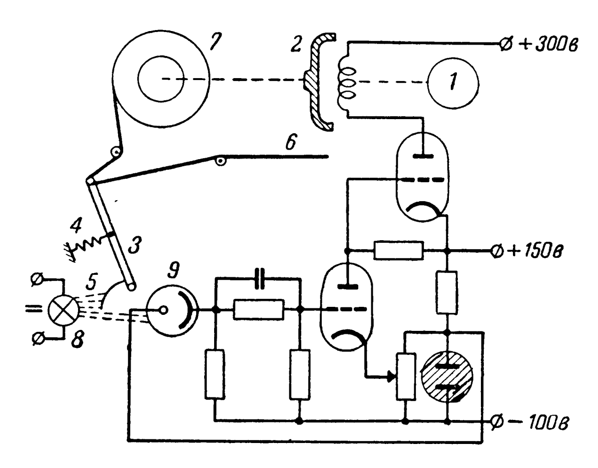


Рис. 44. Схема контроля натяжения ленты.

1 — ведущий электродвигатель; *2* — индукционный тормоз; *3* — рычаг; *4* — регулирующая пружина; *5* — заслонка; *6* — магнитная лента; *7* — кассета; *8* — осветитель; *9* — фотоэлемент.

Перейдем к рассмотрению процесса воспроизведения (рис. 45). При воспроизведении сигналы от воспроизводящих головок *1* усиливаются в усилительных устройствах *2* и затем проходит через специальное электронное устройство *4*, в котором после корректировки по фазе и времени они восстанавливаются в первоначальный красный, зеленый и синий сигналы изображения. Для этого к каждому сигналу цвета с частотным диапазоном до 1,5 *Мгц*, воспроизводимому с ленты, добавляется соответствующая частотная составляющая из монохроматического сигнала с диапазоном частот свыше 1,5 *Мгц*. Три составляющие цвета смешиваются далее в смесительной схеме *5*, на выходе которой получается первоначальное цветное изображение.

Может показаться, что достаточно смешать составляющие разложения и можно будет получить цветное изображение. Но это далеко не так. Процесс восстановления записанного изображения из составляющих довольно сложен. Он происходит при тщательном контроле со стороны специальных синхронизирующих устройств *3*.

Система действует таким образом, что любые нежелательные колебания скорости движения ленты не будут влиять на насыщенность изображения цветом, его оттенок

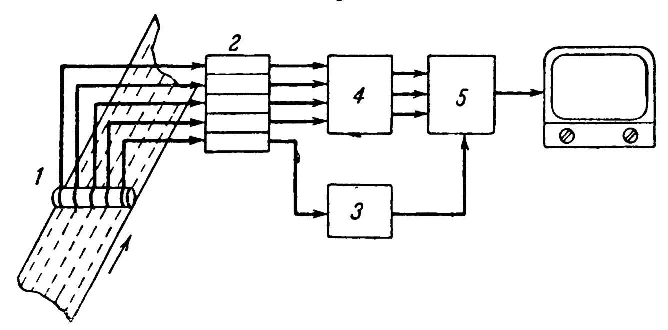


Рис. 45. Блок-схема воспроизведения системы RCA.

1 — пятиканальная воспроизводящая головка; *2*—специальные усилители воспроизведения; *3* — синхронизирующие устройства; *4* — блок восстановления составляющих разложения; *5* — смеситель.

и стабильность. Эти колебания могут только вызывать горизонтальное смещение изображения в пределах развертки растра.

Для поддержания постоянной скорости движения магнитной ленты при воспроизведении имеется специальная следящая система воспроизведения (рис. 46). Она подобна следящей системе записи, только в этом случае сигналы синхронизации, воспроизводимые с ленты с помощью головки *6*, сравниваются с сигналами синхронизации от специального сигнал-генератора. С помощью этой системы частота воспроизводимых строчных синхронизирующих импульсов приводится в соответствие с частотой синхронизирующих сигналов, вырабатываемых сигнал-генератором.

Необходимо отметить, что довольно трудно поддерживать с большой точностью требуемое фазовое соотношение между двумя синхронизирующими сигналами в следящей системе воспроизведения. Это объясняется тем, что вращающиеся детали лентопротяжного механизма обладают значительной инерцией.

Для повышения чувствительности системы поддержания постоянства скорости движения ленты при воспроизведении и обеспечения прецизионного регулирования вводят второе звено регулирования (рис. 47), обладающее малой постоянной времени. Это обеспечивается использованием вибрирующих воспроизводящих головок, движение которых управляется электромеханическим поворотным устройством, являющимся исполнительным механизмом второго звена регулирования.

Из рис. 47 видно, что сигналы синхронизации от сигнал-генератора поступают на вход фазового дискримина-

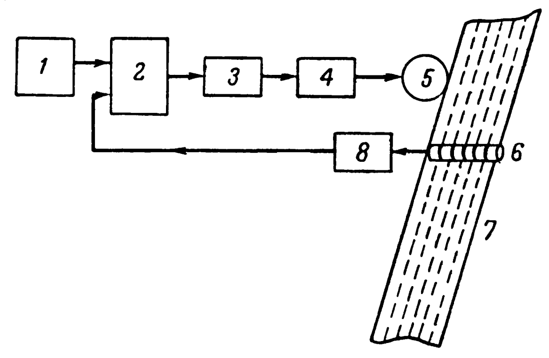


Рис. 46. Система контроля скорости воспроизведения.

1 — сигнал-генератор; 2 — фазовый дискриминатор; 3 — усилитель; 4 — индукционный тормоз; 5 — ведущий электродвигатель; 6—магнитная головка; 7 — магнитная лента; 8 — блок воспроизведения.

тора не непосредственно, а через линию задержки. Введение последней объясняется тем, что вследствие наличия в системе раздельных блоков головок записи и воспроизведения между строчными синхронизирующими импульсами, воспроизводимыми с ленты головками записи и воспроизведения и воздействующими соответственно на первую и вторую следящие системы регулирования, получается сдвиг во времени. Линия задержки обеспечивает компенсацию этого сдвига.

С помощью вибрирующих головок воспроизводятся все сигналы с ленты, причем необходимая корректировка фазы происходит не только у синхронизирующих, но и у всех воспроизводимых сигналов.

Головка воспроизведения представляет собой блок в виде цилиндра, в который входят пять одноканальных

головок (по числу дорожек). Зазоры этих головок располагаются по образующей цилиндра строго параллельно его оси (подобные головки применяются и при записи, только в этом случае они стационарны).

На рис. 48 показан привод головок, представляющий собой сбалансированный магнитный блок, якорь которого *3* присоединяется к цилиндру при помощи валика, лежащего на двух опорных призмах *5*. Как отмечалось выше, при воспроизведении цилиндр может поворачиваться во-

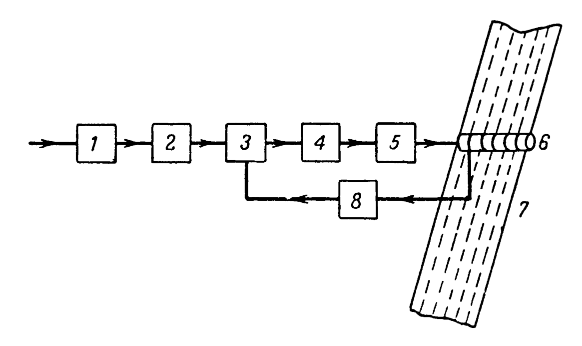


Рис. 47. Управление вибрацией воспроизводящей головки.

1 — сигнал-генератор; *2* — линия задержки; *3* — фазовый дискриминатор; *4* — усилитель; *5* — электромеханическое поворотное устройство; *6* — вибрирующая головка; *7* — магнитная лента; *8* — блок воспроизведения

круг своей оси на очень малые углы. Это осуществляется путем подачи тока в обмотки магнитного блока *4*. Последний является исполнительным механизмом следящей системы, показанной на рис. 47.

На рис. 49 показано поперечное сечение одноканальной головки. Обмотка головки состоит из двух катушек, содержащих по 200 витков медной проволоки диаметром 0,05 *мм*. Магнитный сердечник катушек состоит из трех полос толщиной около 50 *мк*, концы которых прижаты друг к другу при помощи двух полуколец из нержавеющей стали. Полный монтаж головки обеспечивается посредством склеивающей массы. Концы сердечника катушек, являющиеся полюсами головки, тщательно отшлифовываются.

Одноканальные головки изолированы друг от друга с целью уменьшения нежелательного взаимного влияния их магнитных полей.

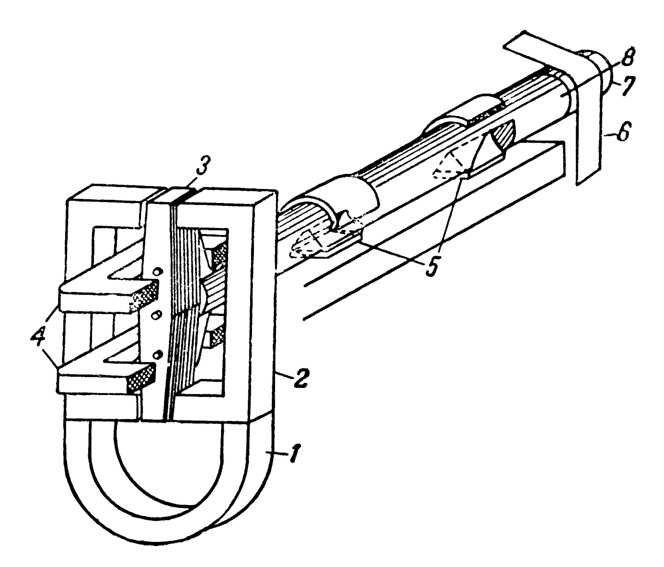


Рис. 48. Привод воспроизводящей головки.

1 — поляризованный магнит, *2* — полюсы; *3* — якорь; *4* — обмотка; *5* — опорная призма; *6* — магнитная лента; *7* — головка воспроизведения; *8* — зазор головки.

Английская система записи изображения VERA. Данная система записи в принципе аналогична системе RCA, но в отличие от последней в ней имеется специальный канал записи низкочастотных составляющих.

Запись осуществляется на трех магнитных дорожках, из которых две используются для сигналов изображения и одна для сигналов звукового сопровождения. Для записи используется магнитная лента шириной около 13 *мм.* При скорости движения ленты 5 *м/сек* на бобину диаметром около 50 *см* может быть записана программа продолжительностью 15 *мин.* Наличие двух комплектов записывающего оборудования дает возможность вести непрерывную запись в течение продолжительного времени.

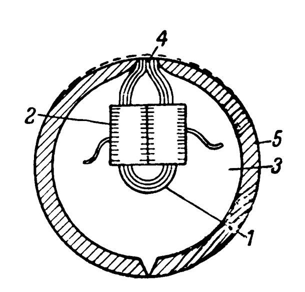


Рис. 49. Сечение элементарной головки.

1 — магнитный сердечник; *2* — обмотка; *3* — склеивающая масса; *4* — полюс головки; *5* — скрепляющие полукольца.

Записываемые видеосигналы разделяются в разделителе *1* (рис. 50)

на два диапазона 0—100 *кгц* и 100 *кгц* — 3 *Мгц*. Видеосигналы, занимающие диапазон 0—100 *кгц*, поступают к модулирующему устройству *3* и модулируют несущую частоту 1 *Мгц* от генератора *2*. Полученные таким образом модулированные по частоте сигналы записываются после усиления в усилителе *5* на одну из магнитных дорожек. Этот метод преобразования низкочастотных составляющих видеосигналов в сигналы более высокой частоты дает возможность преодолеть трудности, связанные с за-

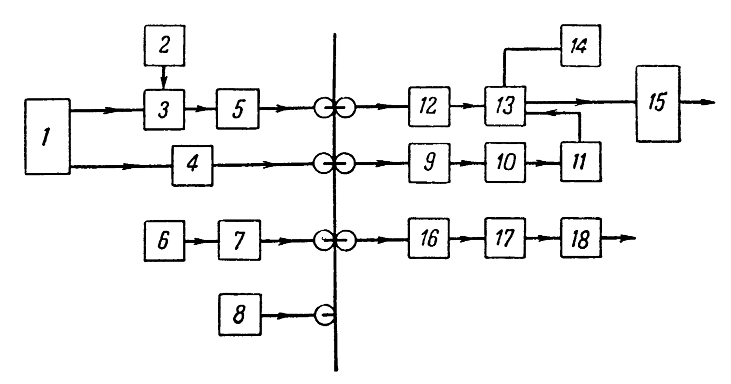


Рис. 50. Система магнитной записи изображения VERA.

1 — разделитель; *2* — генератор несущей частоты; *3* — модулятор; *4* — усилитель записи спектра частот 100 *кгц* — 3 *Мгц*; *5* — усилитель записи спектра частот 0 — 100 *кгц*; *6* — модулятор; *7* — усилитель; *8* — генератор тока стирания; *9* — усилитель воспроизведения; *10* — ограничитель; *11* — демодулятор; *12* — усилитель воспроизведения; *13* — смеситель; *14* — блок синхронизации; *15* — линия; *16* — усилитель; *17* — демодулятор; *18* — усилитель.

писью сигналов низкой частоты на ленту, движущуюся с высокой скоростью. Видеосигналы, занимающие диапазон 100 *кгц* — 3 *Мгц*, после усиления в усилителе *4* записываются одновременно с преобразованными видеосигналами первого диапазона (0—100 *кгц*) на второй магнитной дорожке.

При воспроизведении сигналы несущей частоты 1 *Мгц*, модулированные по частоте видеосигналами, занимающими диапазон 0—100 *кгц*, после усиления в усилителе *9* проходят через ограничитель *10*, демодулятор *11* и смешиваются в смесителе *13* для восстановления исходного сигнала с видеосигналами более высокой частоты (100 *кгц* — 3 *Мгц*), полученными в результате воспроизведения записи на второй дорожке *12*. К смешанному видеосигналу до-

бавляются сигналы синхронизации *14*, включающие сигналы синхронизации по строкам и кадрам, а также сигналы гашения обратного хода развертки. Полученный сигнал подается в линию.

Запись сигналов звукового сопровождения осуществляется на третьей дорожке методом частотной модуляции.

Записывающие головки изготовлены из феррита с тонким слоем μ-металла с высокой проницаемостью, защищающего сердечник в месте прохождения ленты. Ширина зазора головок составляет около 1 *мк*. Головки имеют пологую частотную характеристику в диапазоне частот до 2 *Мгц* с завалом в 3 *дб* на частоте 3,5 *Мгц*. Срок службы головок 50—100 *ч*.

Особые меры приняты для поддержания постоянства скорости ленты. Скорость движения в 5 *м/сек* поддерживается с точностью 0,04%. Лента протягивается при помощи резиновых роликов, обеспечивающих постоянство натяжения и образующих механический фильтр для устранения воздействия неравномерности вращения бобин. В лентопротяжном механизме применяются электродвигатели с управлением по скорости, питаемые напряжением, изменяющимся в соответствии с количеством ленты на бобинах в любой момент времени.

Система продольно-строчной записи

В конце 1951 г. американская фирма Bing Crosby демонстрировала систему записи черно-белого изображения на магнитную ленту. Запись производилась на ленту шириной около 20 *мм*. Аппаратура была рассчитана на непрерывную запись программы в течение 15 *мин*.

Принцип действия этой системы основывается на методе, позволяющем производить запись изображения на магнитную ленту при сравнительно невысоких скоростях ее движения, который заключается в разделении записываемого сигнала изображения во времени на ряд узкополосных в частотном отношении каналов.

Запись каждого канала производится на отдельную дорожку на магнитной ленте. В системе для записи сигналов изображения используется 10 дорожек. На 11-й дорожке записываются сигналы синхронизации изображения по строкам и по кадрам. Звук записывается методом частотной модуляции на 12-й дорожке. Несущая частота канала звука выбрана в 100 *кгц* с девиацией ±50 *кгц*. Подобная

система записи звука обеспечивает при воспроизведении отношение полезного сигнала к шуму в 65 *дб* при коэффициенте нелинейных искажений менее 0,5%.

Данная система записи изображения на магнитную ленту является весьма сложной и ее принцип действия в общих чертах заключается в следующем (рис. 51).

При записи изображения импульсы синхронизации по строкам с выхода блока *1* подаются на вход устройства

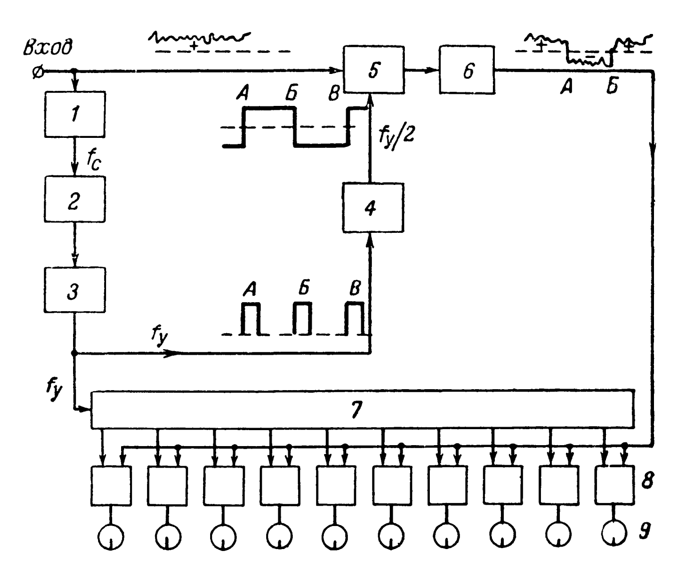


Рис. 51. Блок-схема системы продольно-строчной записи.

1 — блок выделения импульсов синхронизации по строкам; *2* — генератор; *3* — формирующее устройство; *4* — мультивибратор; *5* — электронный коммутатор; *6* — катодный повторитель; *7* — линия задержки; *8* — электронные коммутаторы; *9* — головки записи.

2, генерирующего последовательность импульсов, причем частота следования импульсов на выходе этого устройства находится в строгой зависимости от частоты следования строк записываемого изображения. При частоте следования строк, равной 15 750 *гц* на выходе формирующего устройства получается последовательность импульсов с длительностью каждого в 0,15 *мсек* и частотой следования 339 *кгц*. Эти импульсы управляют работой коммутирующего устройства *5*, изменяющего через определенные промежутки времени полярность записываемого видео-

сигнала. Точность работы коммутирующего устройства превышает 0,05 *мксек*. Полярность сигнала изображения меняется с частотой в 169 *кгц*.

Записываемые сигналы изображения после коммутирующего устройства через катодные повторители *6* проходят к десяти переключающимся блокам *8*, каждый из которых связан с соответствующей записывающей головкой *9*. Для управления работой этих блоков служит специальная линия задержки *7*. Она имеет десять ответвлений, причем задержка между двумя соседними ответвлениями составляет 0,34 *мксек*.

При записи на переключающие блоки поступает записываемый видеосигнал определенной полярности. Одновременно на вход линии задержки поступает управляющий импульс. При прохождении линии задержки управляющий импульс последовательно включает один за другим каждый из десяти переключающих блоков. Импульсы на выходе этих блоков поступают к соответствующим записывающим головкам и фиксируются на ленте в виде своеобразного магнитного отпечатка, представляющего собой записываемый сигнал изображения в данный момент времени. Интенсивность намагничивания ленты зависит от амплитуды сигнала изображения в момент поступления управляющего импульса к соответствующему переключающему блоку, а полярность записываемого сигнала — от полярности видеосигнала на выходе катодных повторителей. Записанный магнитный отпечаток представляет собой след зазора головки записи.

После того как управляющий импульс пройдет всю линию задержки и каждая из десяти головок записи зафиксирует на ленте определенные магнитные отпечатки, полярность сигнала изображения изменится на противоположную. При одновременном поступлении на вход линии задержки следующего управляющего импульса вследствие изменения полярности входного видеосигнала будут записываться участки сигнала в отрицательной полярности.

При записи управляющий импульс поступает в линию задержки с частотой 339 *кгц*. Поэтому каждая записывающая головка будет включаться 339 000 раз в секунду и производить запись 339 000 элементов изображения, а так как в системе запись производится десятью головками, то всего на ленте будет фиксироваться 3 390 000 импульсов в секунду или видеосигнал с максимальной частотой в 1,69 *Мгц*.

При воспроизведении с ленты каждый из записанных импульсов воспроизводится головкой соответствующего канала, причем осуществляется строгий контроль частоты следования (339 *кгц*) и длительности импульсов (0,15 *мксек*). Сигналы отдельных головок комбинируются в интегрирующем устройстве и, проходя через выходной фильтр, восстанавливают записанный сигнал в его первоначальной форме.

Для правильной работы системы большое значение имеет высокая точность синхронизации импульсов, получаемых от отдельных каналов во время записи и воспроизведения видеосигналов. В случае наличия ошибок в синхронизации при воспроизведении импульсов на выходе системы будут возникать сигналы, частоты которых либо совпадут с частотой переключения каналов записи, либо будут кратны им. Эти побочные сигналы будут вносить значительные искажения в воспроизводимое изображение и, следовательно, снижать качественные характеристики всей системы. Ошибки в синхронизации вызываются неточной установкой головок в каналах, неравномерностью движения носителя записи, перекосом ленты и т. д.

Поэтому в системе применяются специальные устройства, такие как синхронизаторы блока отбора импульсов; следящие системы для установки и автоматической регулировки азимутального положения блока головок воспроизведения, устройства, обеспечивающие высокую стабилизацию скорости движения ленты как при записи, так и при воспроизведении, и т. д. Использование подобных устройств значительно повышает качество записываемого изображения.

Системы поперечно-строчной записи

Установка для записи изображения американской фирмы Ampex. Строчный метод записи изображения был применен в 1956 г. В лентопротяжном механизме описываемой установки (рис. 52) лента с подающей кассеты после ролика проходит мимо вращающегося барабана с четырьмя головками. Головки смонтированы на поверхности барабана так, что их зазоры расположены параллельно его оси. Они разнесены на 90° по окружности барабана. Скорость вращения барабана равна 240 *об/сек*. При выбранной в данной системе скорости движения ленты 381 *мм/сек* расстояние между поперечны-

ми дорожками составляет около 0,4 *мм*. Благодаря малой скорости движения ленты на рулоне диаметром около 320 *мм* может быть размещена программа, которая непрерывно воспроизводится в течение 64 *мин*. Это является большим достоинством системы.

Для получения непрерывной записи изображения вполне достаточно, чтобы каждая головка проходила поперек

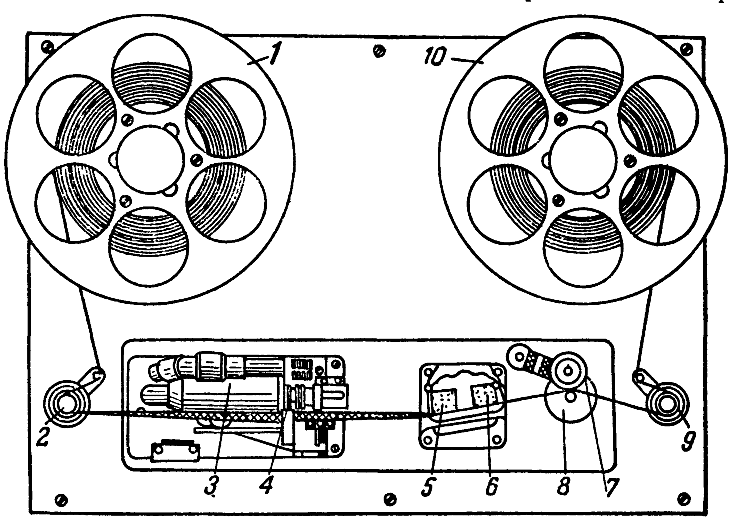


Рис. 52. Лентопротяжный механизм системы Ampex.

1 — подающая кассета; *2* — ролик; *3* — двигатель барабана с головками; *4* — барабан с головками; *5* — головки стирания и управления; *6* — головка записи звука; *7* — обрезиненный ролик; *8* — ведущий вал; *9* — ролик; *10* — принимающая кассета.

ленты дугу в 90°. Однако в этой системе каждая головка описывает дугу в 120°. Так как записываемый сигнал подается одновременно во все четыре головки, то происходит перекрытие записи. Это дает возможность записать сигналы звука и управления скоростью по краям ленты и в то же время сохранить полностью сигнал изображения. Перекрытие записи обеспечивает при воспроизведении получение непрерывного сигнала, свободного от переходных процессов.

Для записи сигналов управления скоростью и звука лента после барабана с головками проходит мимо блока из двух головок. Верхняя стирающая головка подготавливает верхний край магнитной ленты (полоска в 2,3 *мм*)

для дальнейшей записи звукового сопровождения, а нижняя записывает на другом краю ленты синусоидальный сигнал управления. Этот сигнал дает при воспроизведении необходимые данные для контроля относительного положения барабана с головками и ведущей оси, протягивающей ленту. Перед записью сигнала управления нижний край ленты не стирается от предыдущих записей. Дорожка управления занимает на ленте полосу около 1,3 *мм*. Она, по существу, выполняет те же функции, что и перфорация на киноленте.

Оставшееся после записи всех сигналов незначительное перекрытие записи от одной видеодорожки к другой (около двух строк телевизионного изображения) обеспечивает при воспроизведении временной интервал, необходимый для электронной коммутации головок с целью получения непрерывного воспроизведенного сигнала изображения.

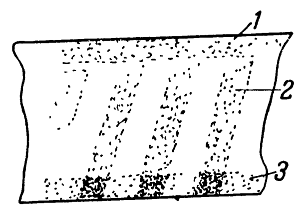


Рис. 53. Лента с дорожками видеосигналов, звука и управления.

1 — дорожка звука; *2* — дорожка видеосигналов; *3* — дорожка управления.

Для создания постоянного контакта между лентой и вращающимися головками лента проходит через специальные направляющие, которые изгибают ленту. Необходимый прижим ленты к головкам осуществляется выбором соответствующего профиля направляющих, а также путем создания вакуумного прижима ленты.

После блока спаренных головок лента протягивается мимо головки записи звука, которая на верхнем крае ленты, предварительно подготовленным головкой стирания, записывает сигналы звукового сопровождения.

На рис. 53 показана лента с дорожками звука, видеосигналов и управления. Ширина ленты около 50,8 *мм*.

При записи сигнал изображения предварительно усиливается в усилителе *1*, а затем подается на модулятор *2* (рис. 54). Необходимость введения модуляции при записи объясняется тем, что в связи с большой относительной скоростью записи резко ухудшается отдача низких частот видеосигнала при воспроизведении (вследствие значительного увеличения длин волн). Обычно при частотной модуляции модулируемая частота в 10 раз больше модулирующей. Для системы магнитной записи такое соотношение непригодно, так как пришлось бы записывать на ленте

несущую частоту в 45 *Мгц*. Поэтому для записи была разработана специальная система частотной модуляции, при которой девиация частоты незначительна по сравнению с частотой модуляции. Несущая частота выбрана в 5 *Мгц*, максимальная модулирующая частота 4,5 *Мгц*, а девиация частоты поддерживается ±500 *кгц*. Такое соотношение несущей частоты, модулирующей частоты и девиации позволяет осуществлять запись сигналов телевизионного изображения в пределах разрешающей способности системы магнитной записи.

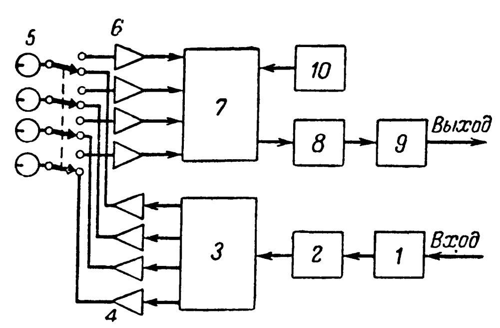


Рис. 54. Упрощенная блок-схема записи и воспроизведения системы Ampex.

1 — усилитель; *2* — модулятор; *3* — блок предварительного усиления; *4* — усилители записи; *5* — магнитные головки; *6* — усилители воспроизведения; *7* — электронный коммутатор; *8* — демодулятор; *9* — усилитель; *10* — блок управления работой коммутатора.

Промодулированный по частоте сигнал изображения через усилители записи *4* подается на вращающиеся головки *5* с помощью специального контактного приспособления, состоящего из контактного диска и щеток, и записывается на магнитную ленту.

При воспроизведении записанного сигнала основная трудность заключается в необходимости соединения отдельных прерывистых участков сигнала от каждой из четырех головок в непрерывный сигнал. Это решается с помощью специальной схемы электронной коммутации сигналов с воспроизводящих головок.

Как уже отмечалось, на ленте наблюдается некоторое перекрытие записи от одной поперечной видеодорожки к другой. За время перекрытия электронный переключатель *6* осуществляет последовательную коммутацию выхо-

дов усилителей воспроизведения 7, связанных с вращающимися головками.

Сигналы поступают на вход электронного коммутатора промодулированными. На выходе коммутатора получается непрерывный частотно-модулированный сигнал, из которого после демодуляции 8 выделяются записанные сигналы изображения.

Как при записи, так и при воспроизведении между скоростью вращения барабана с головками и скоростью

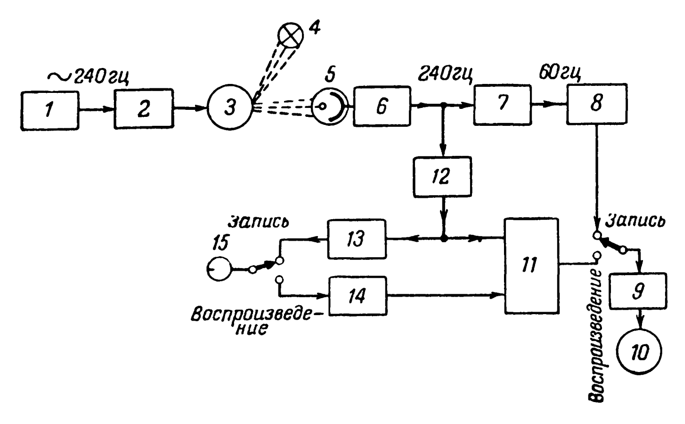


Рис. 55. Система контроля скорости движения ленты при записи и воспроизведении.

1 — частотный умножитель; *2* — усилитель мощности; *3* — двигатель барабана с головками; *4* — источник света: *5* — фотоэлемент; *6* — формирующее устройство; *7* — частотный делитель; *8* — полосовой фильтр на 60 *гц*; *9* — усилитель мощности; *10* — ведущий двигатель; *11* — фазовый дискриминатор; *12* — полосовой фильтр на 240 *гц*; *13* — усилитель записи канала управления; *14* — усилитель воспроизведения канала управления; *15* — головка управления.

вращения ведущей оси должно поддерживаться строго постоянное соотношение. Это соотношение устанавливается с начала процесса записи. Питающее напряжение с частотой в 60 *гц* подается на частотный умножитель, на выходе которого получается сигнал с частотой 240 *гц* (рис. 55), который после усиления подводится к синхронному двигателю, вращающему барабан с головками. На оси двигателя имеется диск, одна половина которого зачернена. Луч света фокусируется на диск и отражается на фотоэлемент. На выходе формирующего устройства получаются импульсы с частотой следования 240 *гц*, которые, проходя через частотный делитель, преобразуются в по-

следовательность импульсов с частотой в 60 *гц*. Затем эти импульсы пропускают через полосовой фильтр, на выходе которого получается синусоидальное напряжение, питающее ведущий двигатель.

Вся описанная цепь есть не что иное, как электрическая аналогия механической зубчатой передачи, связывающей вращение ведущего вала с вращением магнитных головок. Таким образом, питание, которое подводится к ведущему двигателю, находится в жесткой зависимости от вращения магнитных головок.

При воспроизведении питающее напряжение к барабану с головками подается тем же путем, что и при записи, только к ведущему двигателю оно подается от специальной следящей системы. На вход этой системы подается сигнал с частотой 240 *гц* с дорожки управления и сигнал непосредственно от фотоэлемента. При рассогласовании фаз между ними возникает сигнал ошибки, который выявляется фазовым дискриминатором, проходит фильтр нижних частот и поступает на сетку реактивной лампы.

Последняя является частотнозависимым элементом генератора, собранного по мостовой схеме. Номинальная частота генератора 60 *гц*. При появлении сигнала ошибки частота сигнала на выходе генератора будет меняться. Выход генератора через усилитель мощности связан с ведущим двигателем. Ведущий вал начинает вращаться быстрее, когда сигнал, записанный на дорожке управления, отстает по фазе от сигнала, получаемого с фотоэлемента, и соответственно вращается медленнее, когда опережает.

Таким путем с помощью прецизионного следящего управления при воспроизведении добиваются того же соотношения между вращением ведущей оси и вращением барабана с головками, что и при записи.

Система записи изображения фирмы Ampex (ФРГ). Система записи телевизионных сигналов на магнитную ленту, разработанная американской фирмой Ampex, рассчитана на частоту питающего напряжения 60 *гц*. Такая частота делает эту систему пригодной для использования на телецентрах европейского континента, и в частности в СССР, только с принципиальной точки зрения, так как частота питающей сети в Европе принята 50 *гц*.

Перевод системы Ampex на частоту питающей сети в 50 *гц* был произведен в ФРГ. Принцип действия систе-

мы, конструктивное решение узлов и качественные показатели остались без изменения. Переход на частоту 50 *гц* только несколько изменил характеристики системы. Так, например, скорость движения ленты стала около 380 *мм/сек*, магнитный барабан вращается со скоростью 250 *об/сек*, 625 строк горизонтальной развертки записываемого изображения занимают 40 поперечных магнитных дорожек, которые располагаются на 15,9 *мм* ленты, бобины содержат 1 440 *м* ленты, что обеспечивает непрерывную запись в течение 63 *мин*.

В блоке управления данной системы введение частоты питания в 50 *гц* заставило изменить схемы отдельных ее элементов (фильтры, генераторы, коммутирующие блоки и т. п.).

Сравнительная оценка различных методов записи

Для удобства оценки той или иной системы магнитной записи изображения ниже приводится сводная таблица, в которой отмечены основные технические характеристики описанных выше трех систем.

Основные характеристики существующих систем записи телевизионного изображения на магнитную ленту

Метод записи	Система записи	Высшая частота, *Мгц*	Количество строк	Линейная скорость, *м/сек*	Относительная скорость лента — головка, *м/сек*	Ширина носителя, *мм*	Линейная плотность записи, *гц/мм*	Поверхностная плотность записи, *см²/сек*	Длина записываемой волны, *мк*
Прямая запись	RCA	3,5	250	6,5	6,5	12,5	600	500	1,7
	VERA	2,5—3	200	5,14	5,14	6,25	600	430	1,7
Продольно-строчная запись	Bing Crosby	2,0	200	2,5	2,5	20	150	1 000	6
Поперечно-строчная запись	Ampex	4,5—5	400	0,38	38	50	150	130	6

Из таблицы видно, что наиболее пригодными для массового применения являются системы поперечно-строчной записи, обладающие самой высокой разрешающей способностью (до 400 строк). Линейная скорость движения носителя записи у них ниже, чем у других систем, и почти такая же, как при записи звука. Эти системы обеспечивают возможность записи часовой программы на одном рулоне ленты.

Применение метода частотной модуляции позволяет в поперечно-строчных системах значительно снизить взаимовлияние соседних магнитных дорожек и довести расстояние между ними до 0,125 *мм* (Ampex).

К недостаткам систем поперечно-строчной записи следует отнести необходимость весьма точной установки головок на барабане при воспроизведении на другом аппарате, так как малейшая неточность их установки приводит к значительным искажениям.

Системы продольно-строчной записи обладают тем преимуществом, что имеют малую линейную плотность записи и сравнительно низкую линейную скорость движения носителя записи, причем эти характеристики могут быть еще более улучшены при увеличении числа каналов записи. Поэтому, если нет ограничений в поверхностной плотности, эти системы являются весьма перспективными.

К недостаткам систем продольно-строчной записи следует отнести большое влияние незначительных перекосов носителя на качество воспроизводимого изображения (переход головки с одной дорожки на другую). Поэтому в отличие от систем поперечно-строчной записи в рассматриваемых системах магнитные дорожки более широкие (например, в системе Bing Grosby порядка 1 *мм*) .

Системы прямой записи являются наименее перспективными. Разрешающая способность их невысока (около 300 строк). Трудность создания головок с весьма малым зазором, обеспечение высокого постоянства скорости движения носителя и неравномерная частотная характеристика системы (завал характеристики на частотах до 100 *кгц*) делают их малопригодными для массового применения.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 40 к.